



Susana Isabel Máximo Antunes

Licenciada em Saúde Ambiental

**Impacte ambiental da produção de placas
de isolamento térmico a partir de
borracha de pneu de reciclagem
criogénica**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente, perfil gestão e sistemas ambientais

Orientadora: Maria da Graça Madeira e Martinho,
Professora Doutora, FCT-UNL

Co-orientadora: Ana Lúcia Lourenço Pires, Doutora, FCT-
UNL

Presidente: Prof. Doutora Ana Isabel Espinha da Silveira

Arguente: Prof. Doutor Nuno Miguel Ribeiro Videira Costa

Vogais: Prof. Doutora Maria da Graça Madeira Martinho

Doutora Ana Lúcia Lourenço Pires



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro, 2012

Impacte ambiental da produção de placas de isolamento térmico a partir de borracha de pneu de reciclagem criogénica

Copyright © 2012, Susana Isabel Máximo Antunes, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de outra forma digital, ou por qualquer meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua própria cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Agradeço às minhas orientadoras, à Doutora Ana Pires pela orientação proporcionada neste trabalho, pelas sugestões de melhoria e pelos conselhos transmitidos, à Prof^a Doutora Graça Martinho, expresse o meu reconhecimento e agradecimento tanto pela disponibilidade e orientação da dissertação.

Agradeço à Recipneu, particularmente ao Eng^o Vasco Pampulim, pela disponibilidade e amabilidade com que nos recebeu nas suas instalações, bem como no apoio e contacto para troca de informações.

À minha colega e amiga Inês Feio, agradeço o apoio, a motivação e amizade demonstrados ao longo de todo este semestre.

Ao meu namorado, familiares e amigos agradeço encarecidamente o apoio e a atenção que me deram de forma incondicional e, especialmente, pelos incalculáveis conselhos, correcções e revisões que ajudaram a finalizar este trabalho.

Nos últimos anos a exportação do granulado de borracha, resultante da reciclagem de pneus usados, teve um aumento significativo pois o mercado nacional para este resíduo ficou saturado. Tendo presente esta problemática idealizou-se, como potencial aplicação alternativa para o granulado de borracha, a sua utilização para a produção de placas para isolamento térmico. Considerou-se de interesse avaliar o impacte ambiental destas placas de borracha.

Com o objectivo de avaliar o comportamento ambiental deste produto, foi aplicada a metodologia análise de ciclo de vida (ACV) *streamlined*, com base na ISO 14040 e utilizando o *software* Umberto para a modelação, comparando-se a placa de granulado de borracha, resultante do processo de reciclagem de pneus usados, com a placa tradicional de poliuretano rígido. Os dados utilizados foram, na sua maioria, resultantes da biblioteca da base de dados do próprio *software*. As categorias de potencial impacte ambiental consideradas foram o aquecimento global e a depleção de recursos abióticos.

Os resultados obtidos da ACV mostram que a comparação dos potenciais impactes ambientais dos dois produtos apresenta diferenças significativa para as categorias de impacte consideradas, evidenciando, no entanto, potenciais impactes ambientais mais baixos para a produção da placa de granulado de borracha. Este facto é indicativo da viabilidade ambiental para a utilização de granulado de borracha para a produção de placas de isolamento térmico. Futuros estudos deverão ser desenvolvidos com o propósito de estudar a viabilidade técnica e económica desta possível aplicação.

Palavras-chave: ACV *streamlined*, granulado de borracha de pneus usados, desempenho ambiental, *software* Umberto, poliuretano rígido, reciclagem de pneus

Abstract

In the last years, due to the Portuguese market saturation, exportation of granulate resulting from rubber recycling, had a significant increase. Taking this problem into account a potential alternative application for rubber granulates is its use for the production of plates for thermal insulation. It was considered of interest assess the environmental impact of these rubber plates.

In order to evaluate the environmental performance of this product the Streamlining life cycle analysis (SLCA) methodology according to ISO 14040 was applied, and the software Umberto used as a modeling tool, comparing the rubber granulate plate with the traditional polyurethane rigid plates. The data used, was mostly from the database library's available in the software. The environmental potential impact categories considered were global warming and the depletion of abiotic resources.

The results show that the environmental impacts of two products compared do present significant differences to the impact categories considered, although, lower environmental potential impact for the production of granulated rubber plate are observed. This fact shows that there is environmental viability to use rubber granulate to produce insulation boards.

Further studies should be developed in order to evaluate the technical and economic viability of this possible application.

Keywords: Streamlining life cycle analysis; rubber granulate; environmental viability; software Umberto; rigid polyurethane

Acrónimos e simbologia

ACAP – Associação Automóvel de Portugal

ACV - Análise de Ciclo de Vida

ANIRP – Associação portuguesa dos Industriais da Borracha

ALIAPUR – *Filière de Valorisation des Pneus Usagés*

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

Basel Convention – *Controlling Transboundary movements of hazardous wastes and their disposal*

BMB – Betume modificado com borracha

Blic – *European Association of the Rubber Industry*

CO₂ – Dióxido de carbono

EPA – *United States Environmental Protection Agency*

ETRMA – *European Tyre and Rubber Manufacturers Association*

EU – União Europeia

EUA – Estados Unidos da América

INE - Instituto Nacional de Estatística

INETI – Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial

MRI – *Midwest Resarche Institute*

LCA - *Life-cycle assessment*

LER - Lista Europeia de resíduos

PU – Pneus usados

Quercus – Associação Nacional de Conservação da Natureza

UF – Unidade funcional

UNEP - *United Nations Environment Programme*

REPA – *Resource and Environmental Profile Analysis*

SDAB – *Swedish Tyre Recycling Organisation*

SETAC – *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*

SI – Sistema internacional de Unidades

SIRAPA - Sistema Integrado de Registo da Agência Portuguesa do Ambiente

SGPU – Sistema de Gestão de Pneus Usados

SLCA - *Streamlined Life Cycle Assessment*

SO₂ – Dióxido de Enxofre

SETAC – *Society for Environmental Toxicology and Chemistry*

VFV – Veículos em fim de vida

WBCSD – *World Business Council for Sustainable Development*

Índice de matérias

Capítulo 1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Objectivos.....	2
1.3	Metodologia geral.....	2
1.4	Organização da dissertação	3
Capítulo 2	Pneus usados	5
2.1	Ciclo de vida dos pneus	5
2.1.1	Concepção e produção.....	5
2.2	Produção e mercado dos pneus usados.....	12
2.3	Enquadramento legal.....	15
2.3.1	Legislação comunitária.....	15
2.3.2	Legislação nacional.....	16
2.4	Gestão de pneus usados	20
2.4.1	Sistemas de gestão a nível Europeu.....	20
2.4.2	Sistema Nacional	22
2.4.3	Fim de Vida do Pneu.....	27
2.5	Análises de ciclo de vida realizadas aos pneus	36
Capítulo 3	Metodologia de Análise de ciclo de vida (ACV)	39
3.1	Enquadramento.....	39
3.2	Regulamentação normativa	41
3.3	Etapas de ACV	42
3.4	Definição de objectivo e âmbito	43
3.4.1	Função do sistema e unidade funcional.....	43

3.4.2	Limites do sistema	44
3.4.3	Qualidade dos dados	44
3.5	Inventário	44
3.5.1	Árvore de processo	45
3.5.2	Recolha de dados	45
3.5.3	Procedimentos de cálculo	45
3.5.4	Análise dos resultados.....	46
3.6	Avaliação de impacte	46
3.6.1	Elementos obrigatórios	46
3.6.2	Elementos opcionais	48
3.7	Métodos de avaliação de impactes.....	48
3.8	Interpretação.....	49
3.9	Limitações de ACV	49
3.10	Simplificação de ACV - Streamlined Life Cycle Assessment	50
Capítulo 4	Pressupostos, análise e discussão dos resultados da análise de ciclo de vida realizada a uma placa de granulado de borracha de pneu usado para isolamento térmico	53
4.1	Considerações prévias.....	53
4.2	ACV	54
4.3	Âmbito e objectivos	54
4.3.1	Definição do objectivo.....	54
4.3.2	Definição do âmbito	54
4.3.3	Categorias de impacte e metodologia de avaliação de impacte.....	55
4.3.4	Definição do sistema do produto.....	55
4.3.5	Condições fronteira, limitações e pressupostos gerais.....	56
4.3.6	Classificação dos dados	57

4.3.7	Inventário do ciclo de vida	57
4.3.8	Produção da placa granulada borracha	57
4.4	Modelação do ciclo de vida.....	61
4.5	Análise de sensibilidade	63
Capitulo 5	Conclusões	67
Capitulo 6	Bibliografia.....	69

Índice de figuras

Figura 2.1 - Primeiro pneu, patenteado por Thomson (Blakcircles)	5
Figura 2.2 - Identificação da estrutura de um pneu (tires 2012)	8
Figura 2.3 - Panorama europeu quanto à gestão de pneus usados.....	22
Figura 2.4 - Funcionamento do SGPU (Valorpneu 2012).....	25
Figura 2.5 - O pneu num processo de recauchutagem (Ambiente 2008)	29
Figura 3.1 - Estágios do ciclo de vida do produto (USEPA 2001).....	40
Figura 3.2 - Fases de uma análise de ciclo de vida (Fonte: ISO 14040: 1997)	43

Tabela 1.1 - Cronograma das várias fases do presente trabalho.....	3
Tabela 2.1 – Pesos médios de pneus por categoria (Convention 1999)	8
Tabela 2.2 - Composição dos pneus de veículos ligeiros e pesados (Programme 2008)	9
Tabela 2.3 - Materiais utilizados no fabrico de pneus (Programme 2008)	9
Tabela 2.4 - Componentes de pneus que constam no Anexo I da Convenção de Basileia (Convention 1999)	10
Tabela 2.5 - Taxa de recuperação de pneus usados em 2009 nos maiores mercados	13
Tabela 2.6 - Categorias de tamanho de materiais derivados de pneus de borracha adaptado de (Wrap 2008)	32
Tabela 2.7 - Gama de granulados produzidos pela Biosafe (Biosafe 2012).....	33
Tabela 2.8 - Gama de granulados produzidos pela Recipneu (Recipneu 2012).....	35
Tabela 4.1 - Unidade funcional, em kg, necessária para obter uma resistência térmica de $1 \text{ m}^2\text{K/W}$ (Labrincha 2006; Fibrasom 2012).....	55
Tabela 4.2 - Classificação dos dados utilizados.....	57
Tabela 4.3 - Quantidades de <i>inputs</i> e <i>outputs</i> do processo de <i>grinding</i> (Corti and Lombardi 2004)	58
Tabela 4.4 - Quantidades de <i>inputs</i> e <i>outputs</i> do processo de pulverização criogénica (Corti and Lombardi 2004).....	60
Tabela 4.5 - Quantidades de <i>inputs</i> e <i>outputs</i> da produção da placa de granulado (ESKOM 2011).	60
Tabela 4.6 - Resultados da avaliação dos impactes ambientais	61
Tabela 4.7 - Análise de sensibilidade para o consumo de electricidade na produção da placa de granulado de borracha	64
Tabela 4.8 - Análise de sensibilidade para o consumo de vapor de água no processo criogénico...	65

Capítulo 1 Introdução

1.1 Enquadramento

Em 2011, em Portugal, foram gerados cerca de 93 mil toneladas de pneus usados, sendo os principais destinos destes a reciclagem (52,7%), a valorização energética (27,8%), a recauchutagem (18,9%) e a reutilização de pneus usados para outros fins (0,6%) (Valorpneu 2011).

A interdição da deposição de pneus usados em aterros instituída pela Directiva nº 1999/31/CE do Conselho, de 26 de Abril, referente a aterros para deposição de resíduos, associada à importância crescente dada a temáticas como a sustentabilidade e a reciclagem, conduziu à procura de diferentes formas de valorização deste tipo de resíduo, em alternativa à sua deposição ou eliminação. Uma das alternativas de valorização deste tipo de material é a reciclagem física, obtendo-se fragmentos de pneus de diversas dimensões e com variadas aplicações.

A utilização de materiais reciclados em detrimento da aplicação de materiais naturais deve ser estimulada entre a indústria moderna, aliada ao incentivo para o desenvolvimento de investigação nesta área, para que sejam conhecidos os potenciais riscos ambientais que possam estar associados. No que respeita à reciclagem de pneus, os operadores recebem os pneus inteiros ou cortados que são depois processados em granulado de borracha (com separação do metal e do têxtil incorporado nos pneus). Segundo (Valorpneu 2011), 62,5% do granulado de borracha resultante da reciclagem de pneu foi exportado, uma vez que em Portugal o destino final já estava saturado. O destino final em Portugal visa a aplicação do granulado em asfaltos modificados de borracha, campos de relva sintética, pavimento de parques infantis e em pisos equestres (Valorpneu 2011). No entanto, outros destinos poderão ser dados ao granulado de borracha, como no mobiliário de exterior, calçado, mobiliário de escritório, equipamentos de campismo, sistemas de insonorização, entre outros.

Fomentar a utilização de materiais reciclados em detrimento da aplicação de materiais virgens deve ser estimulada, aliada ao desenvolvimento de investigação, para que sejam conhecidos os potenciais riscos ambientais que possam estar associados.

1.2 Objectivos

A presente dissertação pretende avaliar o desempenho ambiental da produção de placas de borracha granulada de pneus usados para isolamento térmico, pretendendo fornecer informações acerca dos impactes ambientais deste produto numa perspectiva de ciclo de vida. É também objectivo compreender a vantagem ambiental da utilização do granulado de borracha de pneu reciclado como substituto de matérias-primas virgens no mesmo produto, identificando uma possível forma de valorização deste resíduo. Para tal comparam-se os impactes ambientais da placa de borracha granulada com a espuma de poliuretano rígida, utilizadas para o mesmo fim, através da metodologia análise do ciclo de vida (ACV).

Os resultados alcançados com este trabalho de investigação foram submetidos ao concurso “Prémio Inovação Valorpneu 2012”.

1.3 Metodologia geral

Em termos metodológicos, o trabalho foi organizado em 6 fases:

- Fase I: Revisão bibliográfica

Nesta fase foi efectuada uma pesquisa documental em livros, relatórios técnicos, artigos científicos, teses e legislação, disponibilizados em suporte papel ou formato electrónico, acerca da temática de pneus usados e da metodologia de ACV. Esta revisão bibliográfica permitiu a definição dos objectivos, bem como da metodologia geral a seguir para os alcançar.

Fase II: Formação sobre o *Software* Umberto

Esta fase incidiu na formação, dada pela Doutora Ana Pires, acerca do funcionamento do *software* Umberto utilizado para realizar a ACV.

- Fase III: Contacto com empresas nacionais

Numa terceira fase, foram contactadas, a empresa nacional produtora de granulado de borracha por processo criogénico designada Recipneu, e várias empresas produtoras de placas de granulado de borracha por processo mecânico, com a intenção de obter os dados de produção necessários para a realização da ACV. Pela indisponibilidade demonstrada em partilharem os respectivos dados, estes foram retirados maioritariamente de um artigo científico de Corti e Lombardi. Esta fase incluiu, igualmente, a recolha de informações necessárias para a caracterização da metodologia seguida.

- Fase IV: Aplicação da ACV

Esta fase consistiu na aplicação da ACV com o intuito de comparar o desempenho ambiental das placas de borracha granulada para isolamento térmico com a espuma de poliuretano rígido, as categorias de impacto estudadas para ambas foram a depleção de recursos abióticos e o aquecimento global, tendo sido retiradas as conclusões possíveis.

- Fase V: Análise de sensibilidade

De forma a avaliar a fiabilidade dos valores obtidos foi realizada uma análise de sensibilidade, esta foi elaborada variando os pressupostos admitidos que ostentaram uma maior contribuição dos impactos, o consumo de electricidade e de gás natural.

- Fase VI: Redacção da dissertação

Esta última fase compreendeu a redacção da dissertação, revisão dos textos e impressão do trabalho final.

No quadro 1.1 apresenta-se o cronograma de todas as fases do presente trabalho.

Tabela 1.1 - Cronograma das várias fases do presente trabalho

Ano	2012								
Meses	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Fase I: Revisão bibliográfica									
Fase II: Formação sobre o <i>Software</i> Umberto									
Fase III: Contacto com empresas nacionais									
Fase IV: Aplicação da ACV									
Fase V: Análise de sensibilidade									
Fase VI: Redacção da dissertação									

1.4 Organização da dissertação

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos. No primeiro capítulo, designado de introdução, é abordado o enquadramento e a relevância do tema, os objectivos, a metodologia geral e a estrutura da dissertação. O capítulo dois é relativo aos pneus usados, apresenta a legislação vigente tanto na União Europeia como em Portugal, caracteriza o sistema de gestão, descreve o seu ciclo de vida, identifica o seu mercado, os riscos e os impactos ambientais.

O capítulo três refere-se à metodologia de ACV, é explicada a metodologia aplicada no estudo de ACV bem como as simplificações que são normalmente necessárias efectuar neste tipo de estudos, por limitações existentes.

No capítulo quatro apresentam-se os pressupostos, a análise e discussão dos resultados da análise de ciclo de vida realizada a uma placa de granulado de borracha de pneu usado para isolamento térmico.

O capítulo cinco apresenta uma síntese conclusiva sobre o trabalho realizado e sugestões de pontos relevantes para estudos futuros.

Capítulo 2 Pneus usados

2.1 Ciclo de vida dos pneus

2.1.1 Concepção e produção

As origens do pneu: breve enquadramento histórico

Em 1839, o americano Charles Goodyear inventou o processo de vulcanização da borracha, dando a conhecer as suas principais características: resistência e elasticidade. Posteriormente, em 1846, um engenheiro ferroviário escocês, Robert William Thomson, fabricou a chamada “roda aérea” e registou a patente (Figura 2.1). Esta consistia num tubo composto por lona e borracha, mais tarde vulcanizada e coberta com couro. Em 1888, John Boyd Dunlop, cirurgião veterinário escocês, imaginou uma roda que associasse tela, borracha, couro e ar, sendo este pneu rapidamente aplicado às bicicletas, vindo a substituir as anteriores rodas de madeira.

Em resposta aos desenvolvimentos de Dunlop, os irmãos Michelin (André e Edouard Michelin), em 1891 inventaram um pneu de mais fácil manutenção, que enchia através de uma válvula e permitia a sua remoção e substituição em caso de dano. Até essa altura, os pneus eram fixos demorando mais de três horas para serem substituídos. Estes pneus são considerados os antepassados dos pneus actuais (Ambiente 2008).

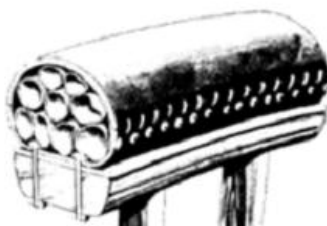


Figura 2.1 - Primeiro pneu, patenteado por Thomson (Blakcircles)

Com o aparecimento das máquinas automóveis e a sua evolução, os pneus foram também melhorados, tornando-se cada vez mais sofisticados. Já em 1946, a Michelin patenteou o pneu radial. Este é constituído por uma carcaça flexível, disposta em arcos radiais, em vez da sobreposição de lonas cruzadas, utilizadas até então nos pneus convencionais. O pneu radial possui também uma cintura metálica que estabiliza a banda de rolamento, fazendo com que o trabalho desta seja independente dos flancos. Actualmente, ainda se mantém a utilização deste tipo de pneus (MICHELIN 2012).

Definição e caracterização de um pneu

Um pneu é um artigo de borracha que apresenta uma estrutura complexa e tem como funções principais: transmitir à estrada a força do motor necessária à propulsão (a força de tracção e de travagem à superfície da estrada e mudar e manter a direcção em que o veículo se desloca), garantindo a sustentação do veículo sobre o solo, amortecer o desnivelamento do pavimento da estrada, assegurando desta forma o conforto na condução e serve também como um recipiente para manter o ar sob pressão (Convention 1999).

As normas e princípios aplicáveis à gestão de pneus usados são regulados pelo Decreto-lei n.º111/2001 de 6 de Abril, onde é definido, no artigo 2, por pneus usados: “ (...) quaisquer pneus de que o respectivo detentor se desfazer ou tenha a intenção ou a obrigação de se desfazer e que constituam resíduos na acepção da alínea m) do artigo 3º do Decreto-Lei n.º 178/2006 de 5 de Setembro, ainda que destinados a reutilização (recauchutagem)”.

Segundo a Lista Europeia de Resíduos (LER) publicada na Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março, os pneus usados são classificados, como resíduos não perigosos e classificados com o código 16 01 03. No entanto, quando não são retirados antecipadamente dos veículos em fim-de-vida, podem também fazer parte desse fluxo, sendo desta forma classificados com o código 16 01 04.

Composição de um pneu

Independentemente da aplicação, todos os pneus devem cumprir uma série de funções fundamentais como amortecimento, estabilidade dimensional, resistência à abrasão e durabilidade. Como tal, os pneus são fabricados a partir de muitos materiais diferentes, incluindo borracha natural e sintética, têxteis e aço (WBCSD, 2008). Conforme (Valorpneu 2012), as variadas partes que compõem um pneu possuem propriedades muito diferentes, e o seu fabrico implica uma grande precisão. Na Figura 2.2 está representada a constituição de um pneu, os componentes indicados apresentam as seguintes características e/ou funcionalidades (Valorpneu 2012):

- Um talão que “Tem como função transmitir os binários do motor e de travagem da jante à área de contacto com o solo” (Valorpneu 2012) . É constituído com um núcleo de arame de aço, envolto em borracha (Campos 2006);
- Uma capa de borracha sintética “constituída por uma camada que permite a impermeabilidade ao ar e substitui as câmaras-de-ar. Uma camada de uma mistura de borracha, normalmente baseada

num halo-butil (um poli-isobutileno halogenado, pode ser clorobutil ou bromobutil). Constitui cerca de 12 % do total de borracha do pneu novo” (Campos 2006); A carcaça, que é “constituída por finos cabos de fibras têxteis dispostas em ângulos rectos e colados na borracha. Estes cabos são um elemento chave da estrutura do pneu e permitem-lhe resistir à pressão. Numa carcaça de pneu de automóvel, existem cerca de 1 400 cabos que podem resistir, cada um, a uma força de 15 kg” (Valorpneu 2012);

- As Paredes laterais são as laterais da carcaça. “São revestidos por uma mistura de borracha com alto grau de flexibilidade e alta resistência à fadiga” (tires 2012);

- Os aros de talão “servem para fixar o pneu na jante. Podem suportar até 1 800 kg sem risco de ruptura” (Valorpneu 2012);

- O Ombro, também conhecido por flancos de borracha macia “que protegem o pneu contra os choques que poderiam causar danos na carcaça, como pequenos choques contra o passeio, buracos, etc. Uma borracha dura assegura a ligação entre o pneu e a jante” (Valorpneu 2012);

- Cintas ou Lonas de reforço, “as quais são feitas com cabos de aço muito finos, mas muito resistentes, são cruzadas obliquamente e coladas uma sobre a outra. O cruzamento dos seus fios com os da carcaça forma triângulos indeformáveis” (Valorpneu 2012);

- A banda de rolagem é ”disposta sobre as lonas de reforço. Esta parte do pneu, que receberá as esculturas, ficará em contacto com a estrada. Na área de contacto com o solo, a banda de rolamento tem que resistir a esforços muito importantes. A mistura que a constitui deve ser aderente em todos os tipos de solos, resistir ao desgaste, à abrasão e aquecer o menos possível” (Valorpneu 2012);

- Nervura central, “proporciona um contacto "circunferencial" do pneu com o solo” (tires 2012).

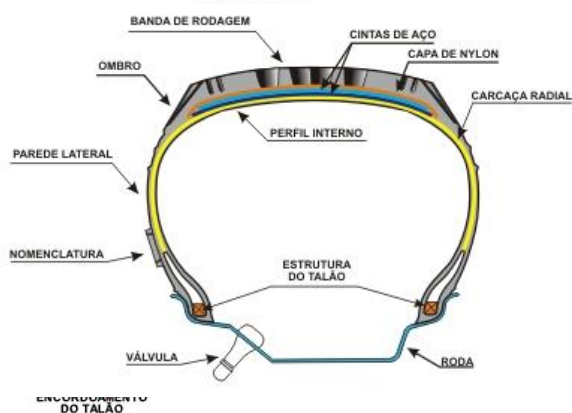


Figura 2.2 - Identificação da estrutura de um pneu (tires 2012)

Consoante o seu tamanho e a sua utilização, os pneus podem variar em termos de *design*, construção e peso total, como mostra a Tabela 2.1. Na Europa, um pneu de um veículo ligeiro pesa cerca de 6,5 kg e o de um pneu de um veículo pesado pesa à volta de 53 kg (Convention 1999).

Tabela 2.1 – Pesos médios de pneus por categoria (Convention 1999)

Tipo de veículo	Peso aproximado por unidade (kg)	Unidades aproximadas por tonelada
Veículo ligeiro	6,5 a 9,0	100 a 154
Veículo semi-pesado	11	91
Veículo pesado	50	20
Outros veículos pesados	55 a 80	12 a 18
Veículos agrícolas	100	10

Aproximadamente 80% do peso de um pneu de um veículo de ligeiros e 75% de um pneu de um veículo pesado são compostos de borracha. A composição dos pneus produzidos por diferentes fabricantes é muito semelhante (Convention 1999). A Tabela 2.2 evidencia a composição dos pneus de ligeiros e de pesados comercializados na UE. A Tabela 2.3 apresenta os materiais usados na sua produção.

Tabela 2.2 - Composição dos pneus de veículos ligeiros e pesados (Programme 2008)

Material	Pneu ligeiro (%)	Pneu pesado (%)
Borracha/elastómero*	48	45
Carbono negro e sílica	22	22
Metal	15	25
Têxteis	5	--
Óxido de zinco	1	2
Enxofre	1	1
Aditivos	8	--

* Pneus de pesados contêm maior percentagem de borracha natural do que borracha sintética. (Pneu pesado: 65% natural, 35% sintético; Pneu ligeiro: 25% Natural, 75% Sintético).

Tabela 2.3 - Materiais utilizados no fabrico de pneus (Programme 2008)

Material	Fonte	Aplicação
Borracha Natural	Obtida principalmente da seiva da árvore <i>Hevea brasiliensis</i>	Normalmente a borracha natural representa entre 30 a 40% do total de elastómeros de um pneu de veículos ligeiros e entre 60 a 80% de um pneu de veículos pesados.
Borracha sintética	Petroquímicos	Geralmente a borracha sintética representa entre 60 a 70% do total de elastómeros de um pneu de veículos ligeiros e entre 20 a 40% de um pneu de veículos pesados
Cabos de aço e fios metálicos, incluindo os materiais de revestimento e activadores, bronze/estanho/zinco	Mineral extraído	Utilizado para fornecer rigidez e resistência aos pneus
Tecidos reforçados	Poliéster, rayon e nylon	Utilizado para fornecer resistência estrutural e às carcaças de veículos ligeiros
Negro de fumo e sílica amorfa	Negro de fumo provém de reservas petrolíferas; sílica amorfa é obtida a partir do mineral silício e carbonato de sódio. Pode ter origem natural ou sintética	Fornecem durabilidade e resistência ao desgaste e rompimento
Óxido de zinco	Mineral extraído ou obtido através da reciclagem de zinco	Activador de vulcanização. Após a vulcanização encontra-se nas ligações de borracha nos pneus.
Enxofre (incluindo compostos)	Mineral extraído ou derivado de gás ou petróleo	Principal agente da vulcanização

Outros aditivos e solventes anti-idade, auxiliares de processamento, aceleradores, agentes de vulcanização, amaciadores e enchimento	Natural ou sintética	Fabrico de compostos de borracha e manipulação das suas propriedades finais.
Borracha reciclada	Reutilização de pneus usados ou outros produtos de borracha	Utilizado em alguns compostos de borracha na manufactura de novos produtos e materiais recauchutados

Os pneus contêm cerca de 1,5% de elementos ou componentes que constam do Anexo I da Convenção de Basileia (1999), sendo que apesar de apresentarem concentrações muito reduzidas, são considerados como resíduos perigosos, como mostra a Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Componentes de pneus que constam no Anexo I da Convenção de Basileia (Convention 1999)

Constituinte	Nomenclatura química	Observações	% por peso
Y22	Compostos de cobre	Constituinte da liga metálica	~0,02
Y23	Compostos de zinco	Óxido de zinco, retido na mistura de borracha	~1
Y26	Cádmio	Vestígios de compostos de cádmio no óxido de zinco	Máx. 0,001
Y31	Chumbo e compostos de chumbo	Vestígios de compostos de cádmio no óxido de zinco	Máx. 0,005
Y34	Soluções ácidas ou ácidos em estado sólido	Ácido esteárico, em estado sólido	~0,3
Y45	Compostos organohalogenados	Borracha butil-halogenada (tendência a diminuir)	Contendo halogéneos Máx 0,10

Segundo (Siddique and Naik 2004), a classificação dos pneus usados após serem reciclados é a seguinte:

- Sucata de pneus: podem ser geridos como pneus inteiros, cortados, rasgados ou picados, como borracha moída ou como um granulado de borracha;
- Pneus cortados: estes são produzidos em máquinas de corte de pneus. Estas máquinas podem cortar o pneu em duas metades ou pode separar as paredes laterais da linha dos pneus;

- Pneus triturados/Chips: envolvem operações primárias, secundárias ou ambas. O tamanho dos fragmentos de pneus produzidos no processo de trituração primária pode variar entre 100-150 até 300-460 mm;
- Borracha moída: para aplicações comerciais podem ir de 0,15mm a 19 mm, dependendo do tipo de equipamento de redução de tamanho e das aplicações previstas. Estes são, tipicamente, submetidos a duas fases de separação magnética e de uma de triagem;
- Granulado de borracha: é constituído por partículas que variam de tamanho de 4,75 a 0,075 mm.

Processo de fabrico

De acordo com (Industrial 2000), o processo de fabrico de pneus ligeiros e comerciais, pneus para *scooters*, pneus para veículos agrícolas e pneus para veículos pesados é análoga e compreende, em geral, as seguintes operações:

- Pesagem: “nesta operação são pesadas as matérias-primas necessárias às várias formulações, tais como: borrachas de natureza vária, pigmentos, negro de fumo, retardadores, activadores de vulcanização, etc. Esta pesagem pode ser manual ou automática”;
- Mistura: “esta operação tem como objectivo a dispersão homogénea dos diversos ingredientes e é levada a cabo em misturadores que podem ser de dois tipos: misturadores internos (*banbury*) e misturadores de rolos. O primeiro possui uma câmara dentro da qual estão dois rotores, de forma especial, que rodam em sentidos opostos e a velocidades diferentes que misturam os diferentes ingredientes. Já nos misturadores de rolos, existem dois rolos paralelos e horizontais que rodam em sentido inverso e a velocidades diferentes. Em qualquer um dos dois, o atrito produzido pelo movimento de rotação dos rolos contra a borracha produz o aquecimento desta e facilita a sua mistura, podendo as temperaturas chegar a 180 °C. Estes misturadores possuem um circuito de refrigeração que impede a subida da temperatura para valores demasiado elevados. No fim desta operação, a borracha sai ainda quente, e na forma de uma banda onde as superfícies facilmente aderem umas às outras”;
- *Bacth-off*: “nesta operação, a borracha quente passa por uma solução aquosa, que constitui um tratamento anti-aderente. As tiras de borracha, após arrefecimento sem ar, são cortadas e empilhadas para utilização posterior. A borracha pode então seguir para as operações de formação, como a calandragem de tecidos ou metais, ou a extrusão de componentes”;

- Extrusão: “esta operação permite obter, após aquecimento a cerca de 150°C, a forma e espessura desejada fazendo passar a borracha pela extrusora. A borracha é comprimida através da fiação, que pode ter diversas formas de acordo com o perfil final pretendido”;
- Construção ou montagem do pneu: “geralmente, esta operação é realizada numa máquina de construção de pneus, onde numa primeira fase, se monta a carcaça para posteriormente se adicionar as telas metálicas e o piso, completando assim o pneu. O tipo de componentes adicionados em cada uma das fases é função do tipo de pneu a construir. Desta operação resulta o chamado pneu verde, que posteriormente é submetido à vulcanização”;
- Vulcanização: “após a pintura do pneu, este é sujeito à vulcanização em prensas. Nesta fase, o pneu adquire a sua forma e propriedades elastoméricas finais. Para dar forma ao pneu introduz-se no interior deste um saco, que na altura em que se fecha a prensa é insuflado, comprimindo o pneu em direcção ao molde. O pneu é sujeito a aquecimento indirecto por vapor, atingindo temperaturas próximas de 200°C”;
- Descabelagem: “nesta fase é retirada a borracha em excesso, que resulta da existência de orifícios no molde. Em seguida, o pneu passa para a última fase do processo, a inspecção final”;
- Inspeção final: “o controlo da qualidade dos pneus produzidos faz-se através de uma inspecção visual e nalguns casos utilizando uma máquina de raios x. Todos os pneus fazem um teste de uniformidade radial e lateral, sendo ainda alguns testados numa máquina de balanceamento”.

2.2 Produção e mercado dos pneus usados

A produção anual mundial de pneus é estimada em 1,5 mil milhões de unidades. Ao longo dos últimos 17 anos, as taxas de recuperação de pneus usados têm aumentado drasticamente na Europa, Japão e EUA. Ao mesmo tempo, o custo de reciclagem para o consumidor diminuiu devido ao aumento da eficiência em estruturas de gestão e novas vias de recuperação (ETRMA 2011). Esta mudança demonstra que os produtos derivados dos pneus usados podem ser legitimamente reconhecidos como uma matéria-prima secundária ou um combustível alternativo (ETRMA 2011).

Em 2010, a Europa foi confrontada com o desafio de gerir de forma ambientalmente correcta cerca de 3,3 milhões de toneladas de pneus usados (incluindo pneus usados para recauchutagem e reutilização/exportação), a mesma quantidade de 2008 e 2,2% a mais em relação a 2009. Após a triagem, cerca de 2,7 milhões de toneladas de pneus usados permaneceram no território Europeu,

para recuperação e reciclagem. Isto representa um aumento de cinco vezes a quantidade recuperada ao longo dos últimos 17 anos (ETRMA 2011).

Na Europa, o custo anual de gestão de pneus usados é estimado em 600 milhões de euros (ETRMA 2011). Além disso, a UE tem milhões de pneus usados que foram ilegalmente depositados em aterro ou armazenados. A deposição inadequada dos pneus pode, em alguns casos, representar uma potencial ameaça para a saúde humana (risco de incêndio, abrigo para roedores e outras pragas, como mosquitos) e aumentar os riscos ambientais (ETRMA 2011). Os maiores volumes de pneus usados são decorrentes dos maiores países (Alemanha, Reino Unido, França, Itália, Espanha e Polónia) com intervalo entre 250 e 600 mil toneladas por ano (ETRMA 2011). Em 2009, 95% dos pneus usados decorrentes do mercado Europeu foram desviados dos aterros (Tabela 2.8), promovendo a UE como uma das regiões mais avançadas do mundo na reciclagem de pneus usados (ETRMA 2011).

Tabela 2.5 - Taxa de recuperação de pneus usados em 2009 nos maiores mercados

	Recuperação de pneus usados (toneladas)	
UE	2,494,000	95%
EUA (2007)	4,105,800	89%
Japão	737,000	91%
Fonte: ETRMA, 2010-2011		

Em 2010, 23 dos 27 países da EU, recuperaram 90% dos seus pneus usados anualmente. Desses 23 países, 18 recuperaram 100%, enquanto a Itália e a República Checa recuperaram 70% e 90%, respectivamente. Apenas a Bulgária e o Chipre continuam a depositar os pneus usados em aterro (ETRMA, 2011). Países em que o sistema de responsabilidade do produtor actua há mais de 10 anos (por exemplo, países nórdicos) as taxas de recuperação são da ordem dos 100% e as deposições ilegais foram eliminadas.

Apesar da natureza heterogénea dessas taxas, em 2010 a UE dos 27 teve uma taxa média de recuperação de pneus usados de 96%, sendo notável quando comparada com a taxa de recuperação de outros sectores: 69% para papel e 58% para o plástico. Este fluxo de material ingressou em varias aplicações de reciclagem, obras públicas e de engenharia civil ou foi utilizado como combustível substituto em fornos de cimento, caldeiras e centrais eléctricas (ETRMA 2011).

Em Portugal, em 2010, a quantidade de pneus recolhidos e tratados aumentou face ao ano transacto, reflectindo tanto a evolução ocorrida na quantidade de pneus colocados no mercado como dos pneus usados gerados a nível nacional. Pelo terceiro ano consecutivo, a taxa de recolha do SGPU

foi superior a 100%, o que significa que a Valorpneu recolheu mais pneus do que aqueles que foram gerados no ano e que também pagaram ecovalor (Valorpneu 2010).

A maior fracção dos custos incorridos pela Valorpneu diz respeito a custos com operadores do SGPU relacionados com a logística e o tratamento dos pneus usados (armazenagem, transporte, fragmentação, reciclagem e valorização energética). Estes custos representaram 86,7% dos custos operacionais, sendo que, em termos desagregados os custos com os pontos de recolha representaram 18,8% e os de transporte representaram 19,5%. Em relação à valorização, os custos com a reciclagem são os mais expressivos, com 36,2% dos custos totais, bem acima dos 6,9% e 4,9% que representaram os custos com a valorização energética e com a fragmentação, respectivamente (Valorpneu 2010).

Em 2010, pelo segundo ano consecutivo, a Valorpneu conseguiu reduzir o custo médio por tonelada processada. A redução alcançada foi superior à do ano transacto, fixando-se em -2,3%, tendo os custos médios se situado em 111,07 €/t, enquanto no ano transacto se situaram em 113,73 €/t. Esta redução deve-se principalmente à diminuição dos custos com o transporte de pneus e com a valorização. Em termos de custos unitários de valorização, em 2010 atingiu-se o valor mais baixo de sempre, tomando como referência a data em que SGPU foi implementado. Este facto ilustra a tendência que se tem verificado no mercado, que encara cada vez mais o pneu usado como um produto, tendo aumentado o interesse no seu aproveitamento. Tal situação vem ao encontro do que a Valorpneu advoga e aos esforços que tem vindo a desenvolver nos últimos anos neste âmbito (Valorpneu 2010).

2.3 Enquadramento legal

2.3.1 Legislação comunitária

A nível europeu não existe uma legislação específica para a gestão de pneus usados, como acontece por exemplo com os veículos em fim de vida, os óleos usados ou os equipamentos eléctricos e electrónicos. No entanto, os pneus usados, como quaisquer outros resíduos, estão sujeitos às determinações da Directiva-Quadro de Resíduos (DQR), n.º 2008/98/CE de 19 de Novembro de 2008, que estabelece medidas de protecção do ambiente e de saúde humana, prevenindo ou reduzindo os efeitos adversos decorrentes da geração e gestão de resíduos, diminuindo os impactes gerais da utilização dos recursos e melhorando a eficiência dessa utilização.

Relativamente a definições, interessa destacar o que a DQR considera como:

- Resíduos, quaisquer substâncias ou objectos de que o detentor se desfaz ou tem intenção ou obrigação de se desfazer;
- Valorização, qualquer operação cujo resultado principal seja a transformação dos resíduos de modo a servirem um fim útil, substituindo outros materiais que, caso contrário, teriam sido utilizados para um fim específico, ou a preparação dos resíduos para esse fim, na instalação ou no conjunto da economia;
- Reciclagem, qualquer operação de valorização através da qual os materiais constituintes dos resíduos são novamente transformados em produtos, materiais ou substâncias para o seu fim original ou para outros fins. Inclui o reprocessamento de materiais orgânicos, mas não inclui a valorização energética nem o reprocessamento em materiais que devam ser utilizados como combustível ou em operações de enchimento;
- Reutilização, qualquer operação mediante a qual produtos ou componentes que não sejam resíduos são utilizados novamente para o mesmo fim para que foram concebidos.

A DQR refere que a hierarquia dos resíduos é aplicável enquanto princípio geral da legislação e da política de prevenção e gestão de resíduos, devendo os Estados-membros respeitar a seguinte ordem de opções:

- a) Prevenção e redução;
- b) Preparação para a reutilização,

- c) Reciclagem;
- d) Outros tipos de valorização (*e.g.* valorização energética);
- e) Eliminação.

Neste diploma legal é introduzido um novo conceito, que consiste no fim de estatuto de resíduo.

No ponto 1 do seu art.6.º, é referido que:

- a) “ (...) determinados resíduos específicos deixam de ser resíduos (...) caso tenham sido submetidos a uma operação de valorização, incluindo a reciclagem, e satisfaçam critérios específicos a estabelecer nos termos das seguintes condições:
- b) A substância ou objecto ser habitualmente utilizada para fins específicos;
- c) Existir um mercado ou uma procura para essa substância ou objecto;
- d) A substância ou objecto satisfazer os requisitos técnicos para os fins específicos e o respeitar a legislação e as normas aplicáveis aos produtos;
- e) A utilização da substância ou objecto não acarretar impactes globalmente adversos do ponto de vista ambiental ou da saúde humana.
- f) Se necessário, os critérios incluem valores-limite para os poluentes e têm em conta eventuais efeitos ambientais adversos da substância ou objecto.”
- g) No ponto 2 do mesmo artigo, é exposto que deverão ser ponderados critérios específicos para o estabelecimento do fim do estatuto de resíduo, nomeadamente, e pelo menos, para agregados, papel, vidro, metal, pneus e têxteis.

A Directiva n.º 1999/31/CE, de 26 de Abril, relativa à deposição de resíduos em aterros, estabelece na alínea 3 do art.5.º que os Estados-membros deverão tomar medidas para que não sejam aceites em aterros a partir de 2003 os pneus inteiros, com exclusão dos pneus utilizados como materiais de fabrico, e a partir de 2006 os pneus usados triturados, excluindo, em ambos os casos, os pneus de bicicletas e os pneus com diâmetro exterior superior a 1400 mm.

2.3.2 Legislação nacional

Em Portugal, o Decreto-Lei nº178/2006, de 5 de Setembro, aprova o regime geral da gestão de resíduos, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva nº 2006/12/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, e a Directiva n.º 91/689/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro. Este diploma legal foi alterado pelo Decreto-Lei nº 173/2008, de 26 de Agosto; pela Lei n.º 64-A/2008, de 31 de Dezembro; pelo Decreto-Lei n.º183/2009, de 10 de Agosto; e pelo Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de Junho, que procede à transposição de Directiva 2008/98/CE, relativa à

gestão de resíduos, e introduz alterações a vários diplomas legais relativos a esta matéria, entre os quais, ao Regime Geral da Gestão de Resíduos. Esta directiva republica o Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, na redacção dada pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de Junho (enGINUEM 2011), na gestão de resíduos é dada prioridade à redução, reutilização e reciclagem e só em último caso se recorre à eliminação. No entanto, alguns resíduos (*e.g.* embalagens, óleos usados, pneus usados, pilhas, equipamento electrónico) podem ser geridos sem atender a esta ordem de prioridades, desde que tal se justifique, tendo em conta o impacte no ambiente e na saúde humana.

Passa a ser autorizada a venda e compra no mercado organizado de resíduos de materiais reciclados, de resíduos perigosos e de subprodutos. Os subprodutos são substâncias ou objectos resultantes de um processo produtivo cujo principal objectivo não era a sua produção.

Algumas substâncias e produtos deixam de ser considerados resíduos, por exemplo, um subproduto não é considerado um resíduo se tiver uma utilização futura que não tem efeitos negativos para o ambiente ou para a saúde humana ou se puder ser usado directamente, sem ter de sofrer mais alterações. Por outro lado, alguns resíduos, depois de tratados ou reciclados, deixam de ser considerados resíduos se houver interessados em adquiri-los ou forem usados para fins específicos, sem efeitos negativos para o ambiente ou a saúde humana. O transporte de resíduos só pode ser realizado com uma guia electrónica de acompanhamento de resíduos (e-GAR), disponível na página da internet da APA, que substitui a guia em papel.

Passa a ser obrigatório registar no Sistema Integrado de Registo da Agência Portuguesa do Ambiente (SIRAPA), disponível na página da internet da APA, informação sobre a produção e gestão de resíduos e dos produtos colocados à venda que, no seu final de vida, dêem origem a resíduos com regras de gestão específicas.

Para resolver a problemática da deposição de resíduos em aterro, nomeadamente a interdição de pneus usados nos aterros foi criado o Decreto-Lei nº111/2001, de 6 de Abril, que estabelece os princípios e as normas aplicáveis à gestão de pneus e pneus usados, tendo como objectivos a prevenção da produção destes resíduos, a recauchutagem, a reciclagem e outras formas de valorização, por forma a reduzir a quantidade de resíduos a eliminar, bem como a melhoria do desempenho ambiental de todos os intervenientes durante o ciclo de vida dos pneus. Este diploma é aplicável a todos os pneus colocados no mercado nacional e a todos os pneus usados. O Decreto-Lei

n.º 43/2004, de 2 de Março, altera o Decreto-Lei n.º 111/2001, de 6 de Abril, que clarifica o cálculo dos objectivos de gestão, nas regras de comercialização, introduz a obrigatoriedade do valor de contrapartida financeira, “ecovalor”, ser discriminado na factura de venda e, em relação às regras de recolha de pneus usados, esclarece que cabe aos distribuidores receberem gratuitamente os pneus usados aquando da venda de pneus novos.

Até Janeiro de 2007, o sistema de gestão era responsável por alcançar: recolhidos e correctamente encaminhados pelo menos 95% dos pneus usados gerados anualmente, conforme correcção introduzida pelo Decreto-Lei n.º 43 de 2004; recauchutados pelo menos 30% dos pneus usados gerados anualmente, conforme correcção introduzida pelo mesmo decreto-lei; valorizados todos os pneus recolhidos e não recauchutados, e que no mínimo, 65% destes sejam sujeitos a reciclagem material, sendo que os restantes podem ser sujeitos a valorização energética.

No campo de acção do sistema de gestão de pneus, que hoje em Portugal é gerido pela entidade gestora Valorpneu, a responsabilidade do produtor termina quando o pneu é entregue, pela entidade gestora, a uma entidade devidamente autorizada e ou licenciada para a sua recauchutagem, reciclagem (trituração), ou outras formas de valorização. Não há, portanto, assunção de responsabilidade posterior relativamente ao destino a dar aos materiais triturados; às cinzas e gases gerados resultantes da recuperação energética; e outras utilizações como a valorização em construção civil e obras públicas. Posto isto, a responsabilidade dos produtos obtidos a partir dos pneus valorizados é dos operadores de resíduos que terão de estar devidamente licenciados para o efeito.

A Lista Europeia de Resíduos (LER) foi transposta para o direito nacional através da Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março. Nesta são definidos códigos de acordo com os resíduos produzidos nas mais diversas actividades económicas.

O Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de Agosto, estabelece o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro, as características técnicas e os requisitos a observar na concepção, licenciamento, construção, exploração, encerramento e pós-encerramento de aterros, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 1999/31/CE, do Conselho, de 26 de Abril, relativa à deposição de resíduos em aterros, alterada pelo Regulamento (CE) n.º 1882/2003, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de Setembro e revoga o Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio. Os objectivos gerais deste decreto prendem-se com a redução dos efeitos negativos sobre o ambiente da deposição dos resíduos em aterro à escala local, em especial a poluição das águas superficiais e subterrâneas,

do solo e da atmosfera, e também à escala global, em particular o efeito de estufa, bem como quaisquer riscos para a saúde humana. O presente diploma mantém a interdição da deposição de pneus usados em aterros, com excepção dos pneus utilizados como elementos de protecção e dos pneus que tenham diâmetro exterior superior a 1400 mm.

Em relação aos pneus recauchutados, foi publicado o Decreto-Lei n.º 80/2002, de 4 de Abril, onde é designada a entidade nacional competente para a concessão da homologação do fabrico de pneus recauchutados em território nacional – a Direcção-Geral de Viação.

2.4 Gestão de pneus usados

2.4.1 Sistemas de gestão a nível Europeu

Os Estados-membros da União Europeia (UE) têm de estar em conformidade com a respectiva legislação europeia em matéria de transposição das directivas para a legislação local, no entanto, são livres para definir quais as iniciativas nacionais que adoptarão para alcançar as metas europeias. No que diz respeito ao desenvolvimento de políticas de gestão de resíduos a nível nacional, a Directiva 1999/31 tem sido a grande impulsionadora para a criação de sistemas de gestão de pneus usados na Europa (ETRMA 2011).

Actualmente, em termos de gestão de pneus usados, na Europa existem três tipos de sistemas de gestão, como se pode observar na Figura 2.3. Alguns países, como a Alemanha, a Áustria ou o Reino Unido, adoptaram o sistema de mercado livre, outros implementaram sistemas baseados no princípio da responsabilidade alargada do produtor, como é o caso de Portugal e mais 10 países, e ainda outros têm um sistema de taxa, como acontece na Dinamarca ou na Hungria. Alguns países estão actualmente em processo de mudança de sistema de gestão, outros, recentemente, mudaram-se para o sistema da responsabilidade alargada do produtor (ETRMA 2011).

Em Itália, a Ecopneus começou a operar a 7 de Setembro de 2011 como um sistema de responsabilidade do produtor, substituindo o anterior sistema de mercado livre. Em 2011, na Republica Checa, foi criada a Associação dos Produtores e Importadores de Pneus, que irá estabelecer um sistema de responsabilidade do produtor e que irá iniciar as suas operações em 2013 (ETRMA 2011).

No que concerne ao sistema de responsabilidade do produtor, a lei define o quadro jurídico e atribui a responsabilidade aos produtores (fabricantes de pneus e importadores) para organizar a gestão da cadeia de pneus em fim de vida. Como consequência criaram-se empresas sem fins lucrativos, financiadas pelos produtores de pneus, visando a gestão de cobrança e a recuperação dos pneus através de soluções mais económicas. A obrigação de comunicação com as autoridades nacionais é um bom exemplo de rastreabilidade clara e confiável (ETRMA 2011). Para o usuário final, este sistema garante a transparência dos custos através de uma contribuição visível, claramente indicados nas facturas. Os membros dessas empresas geralmente incluem os fabricantes nacionais e os importadores principais. Por exemplo, em Portugal, a Continental é fabricante de pneus nacionais

e todas as outras empresas são importadoras (ETRMA 2011). Este sistema parece ser o mais adequado e robusto para endereçamento e resolução de surgimento de pneus em fim de vida, de uma forma sustentada a longo prazo e permite conseguir taxas de recuperação de 100%. No seu conjunto, os fabricantes têm demonstrado uma clara preferência por este sistema e têm revelado determinação e compromisso em seguir esse caminho (ETRMA 2011). Países da UE que adoptaram este tipo de sistema foram: Bélgica, Estónia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Itália, Holanda, Noruega, Polónia, Portugal, Roménia, Eslovénia, Espanha, Suécia e Turquia (ETRMA 2011).

No caso do sistema de taxa, cada país é responsável pela recuperação e reciclagem de pneus em fim de vida. É financiado por um imposto sobre a produção do pneu e posteriormente passado ao cliente. Este é um sistema intermediário em que os produtores pagam um imposto ao Estado, que o responsável global da organização e remunera os operadores da cadeia de recuperação. A Dinamarca é um exemplo de um país da UE que adoptou este tipo de sistema. (ETRMA 2011).

Por último, no sistema de mercado livre, é a legislação que designa os objectivos a alcançar mas não denomina o responsável pela gestão dos pneus usados. Deste modo, todos os operadores envolvidos na cadeia são livres de efectuar contractos no mercado livre e actuar de acordo com a legislação. Este sistema poderá incentivar a cooperação voluntária entre empresas para a promoção de melhores práticas (ETRMA, 2011). Exemplos de países da UE que adoptaram este tipo de sistema são Áustria, Bulgária, Croácia, Alemanha, Irlanda, Suíça. Apesar de operar num sistema de mercado livre, o Reino Unido apresenta um sistema híbrido, em que os colectores e operadores têm de comunicar às autoridades nacionais, portanto, poderia ser nomeado como sistema “gestão de livre mercado” (ETRMA 2011). A Figura 2.1 ilustra o panorama europeu quanto à gestão de pneus usados, no que se refere ao tipo de sistemas e às entidades gestoras existentes (Valorpneu 2012).



Figura 2.3 - Panorama europeu quanto à gestão de pneus usados

2.4.2 Sistema Nacional

De forma a dar cumprimento ao disposto no artigo 7º do Decreto-Lei nº 111/2001, de 6 de Abril, foi constituída, a 27 de Fevereiro de 2002, a Valorpneu – Sociedade de Gestão de Pneus, Lda, empresa sem fins lucrativos, criada com o objectivo de organizar e gerir o sistema de recolha e destino final de pneus usados (Valorpneu 2012). É uma sociedade por quotas, constituída em 60% pela ACAP – Associação do Comércio Automóvel de Portugal, 20% pela ANIRP – Associação Nacional dos Industriais de Recauchutagem de Pneus e 20% pela APIB – Associação Portuguesa dos Industriais de Borracha (Valorpneu 2012).

A Valorpneu foi licenciada em Outubro de 2002, pelos Ministérios da Economia e das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, tendo a licença sido concedida por 5 anos. O Sistema Integrado de Gestão de Pneus Usados (SGPU), da responsabilidade desta entidade gestora, iniciou o seu funcionamento em 1 de Fevereiro de 2003. De acordo com as obrigações contantes na sua licença (ME/MCOTA, 2002), a Valorpneu deve conter no seu sistema integrado todos os pneus colocados no mercado nacional e todos os pneus usados.

Relativamente ao seu financiamento, as receitas advêm das contribuições dos produtores de pneus, realizadas através do “ecovalor”. A quantia relativa ao ecovalor é facturada pelo produtor de pneus

ao distribuidor e por este ao cliente final, na venda de pneus novos ou de pneus importados usados, aparecendo o ecovalor evidenciado, de forma clara e especificada, em cada factura de venda.

Em relação, à Rede Valorpneu, na licença é igualmente definido que, inicialmente, deve ser garantida a existência de pelo menos 40 pontos de recolha de pneus usados no território continental, com um mínimo de um ponto de recolha por distrito. Entende-se por pontos de recolha os locais espalhados pelo território nacional onde todas as entidades públicas ou privadas podem entregar, livre de encargos, qualquer tipo e quantidades de pneus (Valorpneu 2012). A Valorpneu solicitou uma nova licença para continuar a actividade de gestão de pneus usados. A prorrogação da licença foi atribuída por decisão conjunta dos Ministros da Economia e da Inovação, do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, através do Despacho n.º4948/2008, de 25 de Fevereiro de 2008. A prorrogação teve início a 7 de Outubro de 2007 e tinha um prazo de um ano (Valorpneu 2012).

A 4 de Dezembro de 2008 foi atribuída uma nova licença, em vigor para o período de 2008 a 2012. A licença contempla as definições e os princípios de hierarquia de gestão de resíduos previstos na DQR (Valorpneu 2012). Através do Despacho n.º19692/2009 dos Ministérios do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional e da Economia e da Inovação, de 27 de Agosto de 2009, que modifica a licença concedida, a mesma vigora no período de 7 de Outubro de 2008 a 31 de Dezembro de 2013. Esta alteração deve-se ao disposto no n.º6 do artigo 7º do Decreto-Lei n.º111/2001, de 6 de Abril, o qual indica que a transferência da responsabilidade de cada produtor para a entidade gestora é matéria de contrato escrito, com a duração mínima de cinco anos.

No que diz respeito às Regiões Autónomas, as secretarias Regionais de Ambiente das Regiões Autónomas da Madeira e dos Açores concederam o licenciamento à Valorpneu, a 17 de Janeiro de 2006 e a 1 de Abril de 2006, respectivamente (Valorpneu 2012). Actualmente, a licença de extensão da Secretaria Regional de Ambiente da Região Autónoma da Madeira é válida no período de 12 de Agosto de 2009 a 31 de Dezembro de 2012.

Os objectivos de gestão para o período relativo à primeira licença obtida pela Valorpneu estão assentes no Decreto-lei n.º111/2001, de 6 de Abril. Conforme definido no artigo 4º do diploma legal referido, deveria ter sido garantido até 2007, a recolha de pneus usados, na proporção de pelo menos 95% dos pneus anualmente colocados no mercado; a recauchutagem de pneus usados, na

proporção de pelo menos 30% dos pneus anualmente colocados no mercado; a reciclagem de pneus usados, na proporção de pelo menos 65% da totalidade dos pneus recolhidos e não recauchutados.

De acordo com o Decreto-Lei nº111/2001, de 6 de Abril, a responsabilidade da recolha, transporte e destino final adequado dos pneus usados é dos produtores, sendo o produtor definido como qualquer entidade que fabrique, importe ou introduza pneus novos ou em segunda mão no mercado nacional (alínea d) do 2º artigo). De salientar que a comercialização de veículos (ou outros equipamentos que contenham pneus) também se encontra abarcada por esta legislação (alínea d) do 2º artigo). Como este diploma legal não estabelece a assunção individual do produtor, e sendo a Valorpneu a única entidade gestora licenciada para a gestão dos pneus usados, a responsabilidade como produtor deve ser transferida para esta entidade (Valorpneu 2012).

No que se refere às competências definidas pelo Decreto-Lei nº 111/2001, de 6 de Abril, para o SGPU, evidenciam-se a organização da rede de recolha e transporte dos pneus usados, efectuando os necessários contractos com distribuidores, sistemas intermunicipais e multimunicipais de gestão de resíduos urbanos ou seus concessionários ou outros operadores, a quem deverá prestar as correspondentes contrapartidas financeiras; a decisão sobre o destino a dar a cada lote de pneus usados, tendo em consideração a hierarquia de princípios de gestão e os objectivos fixados pelo diploma legal no artigo 4º; a realização de contractos com os recauchutadores, recicladores e outros valorizadores para regular as receitas ou encargos determinados pelos respectivos destinos dados aos seus pneus.

O esquema da Figura 2.2 resume o funcionamento do SGPU gerido pela Valorpneu, podendo traduzir-se o circuito nos seguintes passos (Valorpneu 2012):

- A entrega do pneu usado pelo utilizador final é geralmente efectuada na oficina do distribuidor (normalmente os locais onde se efectua a passagem a resíduos são os mesmos onde se vendem pneus novos). O acto de desclassificar um pneu usado é concomitante com a colocação em marcha de um pneu novo, dada a obrigatoriedade do distribuidor em receber pneus usados aquando a venda de pneus novos de substituição, desde que sejam da mesma tipologia e na mesma quantidade. Os pneus usados são geralmente descartados em oficinas especializadas sem que haja mistura com outros resíduos.

Caso o entendam, os detentores poderão ceder os pneus directamente aos recauchutadores; os pontos de recolha constituem locais devidamente autorizados ou licenciados, em consonância

com a legislação aplicável, para armazenamento temporário de qualquer tipo de pneus usados e que funcionam como um reservatório a montante dos operadores do SGPU;

- Os pontos de recolha permitem (a) controlar e quantificar todos os fluxos de pneus usados encaminhados para os destinos existentes; e (b) disponibilizar uma rede de recolha adequada e distribuída uniformemente pelo país; distribuição, desde os pontos de recolha até aos vários operadores de pneus usados acreditados no sistema (recauchutadores, recicladores e valorizadores) é controlada e suportada financeiramente pelos fundos do SGPU;
- Os recauchutadores poderão colocar nos pontos de recolha os pneus usados resultantes da triagem das carcaças para recauchutar, sem quaisquer custos associados; caso entendam, estes operadores poderão também adquirir carcaças para recauchutar nos pontos de recolha;
- Os recicladores e os valorizadores energéticos fecham o ciclo do SPGU, recebendo os pneus em fim de vida, mediante uma contrapartida financeira e de acordo com as metas legais estabelecidas, dando-lhes o destino adequado (recicladores, através de obtenção do granulado de borracha; e os valorizadores energéticos, através do processo de obtenção de energia).

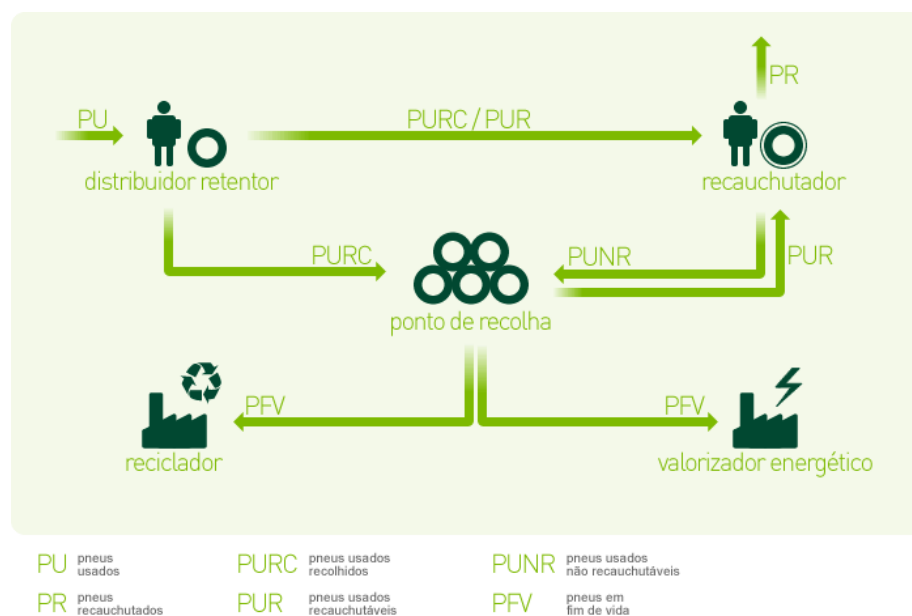


Figura 2.4 - Funcionamento do SGPU (Valorpneu 2012)

Todos os pneus introduzidos no mercado nacional encontram-se abrangidos pelo SGPU gerido pela Valorpneu, sendo classificados em várias categorias: pneus de veículos ligeiros de

passageiros/turismo; pneus de veículos 4x4 “on/off road”; pneus de veículos comerciais; pneus de veículos pesados; pneus de veículos agrícolas; pneus de veículos industriais; pneus de bicicleta, entre outros.

Em 2011 passaram no SGPU cerca de 93 mil toneladas de pneus usados, continuando em termos de recolha o sistema a funcionar no seu máximo (Valorpneu 2011). Foram recicladas 48 mil toneladas de pneus usados e foram aproveitadas energeticamente 25 mil toneladas, sendo os restantes pneus reutilizados ou recauchutados (Valorpneu 2011). Os pneus colocados no mercado registaram um decréscimo significativo face ao ano anterior, tendo a redução do mercado registado -12,6% em peso. Tal deveu-se ao difícil quadro macroeconómico em que o país se encontra, com forte retracção do consumo privado e do investimento, apesar do esforço da Valorpneu para o incremento da adesão de novos produtores (+8.3% para um total de 1.290 produtores no final de 2011) (Valorpneu 2011).

Dos pneus recolhidos no âmbito do SGPU e que não tiveram origem em recauchutadores, a maior parte (74 396 toneladas) teve como proveniência os pontos de recolha da rede Valorpneu. Apenas uma pequena fracção teve origem em descargas directas nos valorizadores. Em relação aos destinos finais dos pneus usados recolhidos (excepto existências), a recauchutagem representou cerca de 18,9% dos pneus usados recolhidos pela Valorpneu, registando um valor de 17 071 toneladas em 2011. Em relação ao ano de 2010 verificou-se uma variação de -5,7% na quantidade de pneus recauchutados em Portugal. A retracção nos pneus recauchutados é menor do que a verificada nos mercados de pneus de substituição e de pneus que equipam veículos novos (Valorpneu 2011).

Mais de metade da quantidade de pneus gerados foi encaminhada para reciclagem (52,7%), ou seja, aproximadamente o dobro do que foi encaminhado para valorização energética (27,8%). Do processo de reciclagem é obtido o granulado de borracha, cuja principal utilização em 2011 continuou a ser o enchimento de campos de futebol de relva sintética, mantendo-se a sua comercialização fortemente dependente deste mercado. De realçar ainda o comportamento do destino misturas betuminosas com borracha, cuja importância decresceu fortemente face a 2010, facto esse a que não é alheia a paragem que ocorreu a nível da construção e manutenção de vias rodoviárias em Portugal. Por outro lado, a retracção da economia nacional significou igualmente que os recicladores nacionais tiveram que aumentar o seu nível de vendas para o exterior, sendo que em 2011 aproximadamente dois terços do granulado produzido no nosso país foi exportado, sobretudo para países europeus (Valorpneu 2011).

2.4.3 Fim de Vida do Pneu

Aspectos gerais

O pneu é um produto complexo e de alta tecnologia de segurança que representa um século de inovação industrial, que ainda está em desenvolvimento. O pneu é composto por numerosos materiais, os melhores que as indústrias têxtil, metalúrgica e química podem produzir. Do ponto de vista dos materiais, o pneu é uma mistura de borracha sintética e natural, à qual são adicionadas substâncias específicas para assegurar a durabilidade, desempenho e segurança. Estas características contribuem de várias maneiras para permitir o desenvolvimento de uma variedade de vias de recuperação e de mercados finais (ETRMA 2011).

De acordo com (ETRMA 2011), a recuperação de materiais pode ser conseguida de variadas maneiras, por exemplo, os pneus inteiros usados em aplicações de engenharia civil podem ser utilizados para protecção costeira, barreiras contra a erosão, recifes artificiais, abrigos de avalanche, estabilização de taludes, aterros de estradas e operações de construção de aterros sanitários, barreiras de som e isolamento. Actualmente, este mercado está confinado a projectos pequenos e, portanto, em escala relativamente pequena.

Os pneus triturados (tamanho de 25-300 mm) são usados como base para estradas e ferrovias, como material de drenagem para areia e cascalho, construção de aterros, isolamento do subleito de estradas.

Já a borracha granulada ou em pó, após a remoção dos componentes de aço e de tecido de borracha, a restante borracha é reduzida a borracha granular (ETRMA 2011). As aplicações incluem produtos de borracha moldados, como rodas de carrinhos de compras, caixotes para resíduos, carrinhos de mão e máquinas de cortar relva, mobiliário urbano e postes de sinais (ETRMA 2011). Borracha granulada ou em pó também é utilizada como pavimento em parques infantis, estádios desportivos, como esteiras de amortecimento para escolas e estábulos, bem como materiais de construção (ETRMA 2011). A borracha granulada é também amplamente utilizada na construção de relva artificial, por exemplo, em campos de futebol (ETRMA 2011).

A borracha de asfalto modificado tem vantagens de elasticidade e absorção de ruído, características da própria borracha. Estas particularidades permitem aumentar a vida útil da superfície da estrada,

reduzir a poluição sonora e aumentar a segurança nas condições de piso molhado (ETRMA 2011). No entanto, apesar das suas vantagens, ainda é pouca utilizada (ETRMA 2011).

A utilização de produtos derivados de pneus em fim de vida em fábricas de aço confirmou que o ferro contido nos pneus pode ser utilizado em parte ou totalmente para substituir a utilização de antracite durante o fabrico de aço a 1 650 °C (ETRMA 2011). Na verdade 1,7 kg de pneus usados é equivalente a 1 kg de antracite (ETRMA 2011).

Segundo (Convention 1999), as oportunidades emergentes dos pneus usados são a pirólise / termólise (tecnologias de tratamento térmico - termólise, pirólise e gaseificação), soluções emergentes para recuperar o valor a partir do final de pneus da vida. A pirólise de pneus envolve a decomposição térmica de pneus usados em substâncias intermédias, tais como óleo, gás e carvão (Convention 1999). A viabilidade económica desta alternativa para a recuperação de recursos de alta temperatura a partir de pneus é prejudicada pelo facto de que os preços obtidos para os subprodutos muitas vezes não conseguem justificar os custos do processo (Convention 1999). Outra oportunidade emergente é a recuperação de energia a partir dos mesmos, com um valor calorífico equivalente ao de carvão de boa qualidade, os pneus em fim de vida são utilizados como uma alternativa aos combustíveis fósseis (Convention 1999). O aumento do preço do petróleo e a necessidade de preservar os recursos poderiam favorecer o desenvolvimento deste tipo de aplicação (Convention 1999).

As vantagens da utilização dos pneus usados para recuperação de energia são as seguintes (Convention 1999):

- O poder calorífico de um pneu de um carro de passageiros é equivalente a 7,6 litros de óleo (menor teor de enxofre);
- Pneus em fim de vida têm um valor calorífico semelhante a um carvão de alta qualidade, tendo a vantagem de que as emissões de metais pesados são muito mais pequenas;
- Os resíduos de incineração podem também ser utilizados como substituto de outras matérias-primas (matéria-prima por exemplo, no clínquer para a indústria de cimento).

Os fornos de cimento também aparecem como uma oportunidade emergente, sendo o sector do cimento a principal aplicação para recuperação de energia. Os novos fornos estão cada vez mais equipados para utilizar os pneus usados como combustível suplementar, uma vez que estes pneus

têm um poder calorífico líquido mais elevado que o do coque de petróleo e até mesmo maior do que o carvão (Convention 1999).

As indústrias intensivas utilizam os pneus usados para reduzir as suas despesas de combustível e ficam em conformidade com os regulamentos de qualidade do ar e de controlo de poluição (Convention 1999). Os pneus são mais baratos que o carvão e o coque de petróleo, portanto o uso destes gera poupança. Actualmente, muitos países, obrigam as empresas a comunicar anualmente as suas emissões de CO₂, utilizando pneus como alternativa ao combustível fóssil, permite que as empresas relatem menores emissões de CO₂ fóssil.

Os pneus usados também poderão ser utilizados em centrais térmicas, esta aplicação em particular está subdesenvolvida na UE, mas muito difundida nos Estados Unidos da América (EUA) e nas fábricas de celulose e papel, o elevado custo de energia poderia criar aberturas para uso de produtos derivados de pneus neste sector. Presentemente, esta aplicação não é desenvolvida na Europa.

De acordo com o Decreto-lei nº111/2001, de 6 de Abril, os pneus usados têm principalmente dois destinos, a reutilização (recauchutagem e reutilização para outros fins que não a recauchutagem) e a valorização (reciclagem, valorização energética). Nos subcapítulos que se seguem descrevem-se estes processos, com particular ênfase à realidade nacional.

2.4.3.1 Recauchutagem

A recauchutagem baseia-se essencialmente em aproveitar a estrutura resistente do pneu gasto (liso), sempre que esteja em boas condições de conservação, e incorporar-lhe uma nova borracha de piso (Figura 2.5). Assim, o pneu mantém as mesmas características técnicas e de comportamento do pneu original, a custos muito menores (Ambiente 2008).

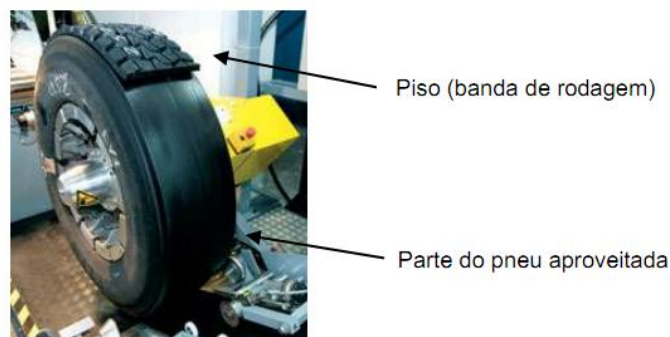


Figura 2.5 - O pneu num processo de recauchutagem (Ambiente 2008)

Relativamente ao pneu novo, na recauchutagem poupa-se cerca de 75%, quer em termos de matéria-prima quer de energia, o que se traduz em vantagens económicas e ambientais (Ambiente 2008). Em média, é possível efectuar a recauchutagem uma vez em pneus de veículos ligeiros, duas a três vezes em pneus de veículos pesados ou industriais, e cerca de dez vezes em pneus de avião (Ambiente 2008). O processo de recauchutagem pode ser realizado a frio ou a quente, envolvendo normalmente seis etapas: inspecção inicial, raspagem, preparação do piso, reparação, vulcanização e inspecção final (Ambiente 2008).

A preferência por pneus recauchutados representa uma opção mais económica, particularmente em relação aos pneus para veículos pesados. Para se garantir a segurança dos pneus recauchutados é indispensável cumprir duas condições, o produto satisfazer as pormenorizações do fabricante e o seu processamento ter um bom padrão de qualidade. Sempre que se garanta o exposto anteriormente, a recauchutagem é a melhor solução, possibilita aumentar o período de vida útil do pneu, reduzir o consumo de energia e diminuir o consumo de matérias-primas (Ambiente 2008).

A recauchutagem é uma actividade existente em Portugal há aproximadamente cinquenta anos, com circuitos comerciais e logísticos muito bem definidos. Como actividade económica tradicional, está fortemente implantada no mercado, particularmente no domínio dos pneus pesados (Valorpneu, 2012). De acordo com a Valorpneu (2012), a rede de recauchutadores aderentes ao SGPU é constituído por trinta e três empresas, sendo que vinte e sete se encontram no continente, três na Região Autónoma dos Açores e três na Região Autónoma da Madeira.

2.4.3.2 Reciclagem

Segundo (Valorpneu 2012), a reciclagem corresponde ao processamento de pneus usados para qualquer fim, que não o inicial, nomeadamente como matéria-prima a incorporar noutros produtos. Os pneus são submetidos a diferentes processos, com o objectivo de separar e extrair diferentes componentes do pneu nomeadamente têxtil, aço e borracha de diferentes granulometrias.

A rede de valorização da Valorpneu é essencialmente constituída por operadores de reciclagem e de valorização energética. Pontualmente podem surgir operadores que valorizam os pneus usados através de reutilização para outros fins (como por exemplo para obras de construção civil, protecção de molhes marítimos) (Valorpneu 2012).

Os operadores de reciclagem recebem os pneus inteiros ou cortados e processam-nos em granulado de borracha (com separação do metal e do têxtil incorporado nos pneus), o qual é depois utilizado para diversas aplicações (betume modificado com borracha, campos de futebol sintéticos,

pavimentos, parques infantis). A Valorpneu trabalha actualmente com três empresas de reciclagem: a Biosafe, localizada em Ovar, a Biogoma, localizada em Tremês, e a Recipneu, localizada em Sines. As duas primeiras operam através de um processo mecânico enquanto a terceira possui um processo criogénico (Valorpneu 2012).

Da reciclagem de pneus usados resulta uma quantidade variada de produtos, que podem ser usados em diferentes aplicações, como mostra a Tabela 2.5. Na Europa, em 2010, o granulado e o pó de borracha foram as principais vias de recuperação material (80%) seguidos do uso dos pneus usados em aplicações de engenharia civil e obras públicas (Aliapur 2010).

Tabela 2.6 - Categorias de tamanho de materiais derivados de pneus de borracha adaptado de (Wrap 2008)

Categorias de tamanho de materiais derivados de pneus de borracha	
Fragmentos de borracha	Tamanho reduzido de borracha a um máximo de 300mm
Chips de borracha	Tamanho reduzido de borracha a um máximo de 50mm
Granulados de borracha	Tamanho reduzido de borracha a um máximo de 10mm
Borracha em pó	Tamanho reduzido de borracha a um máximo de 1mm
Pó fino de borracha	Tamanho reduzido de borracha a um máximo de 0,5mm

De seguida descreve-se o processo de reciclagem da Biosafe, um processo mecânico, e o processo da Recipneu, um processo por criogenia.

Descrição do processo de fabrico da Biosafe

A Biosafe, dedica-se à produção e comercialização de granulado de borracha reciclada. Os pneus usados são transformados numa nova matéria-prima, o granulado de borracha, com um valor comercial extremamente competitivo e de alto valor acrescentado (Biosafe 2012).

É através da tecnologia de trituração mecânica à temperatura ambiente que se consegue obter o granulado de borracha reciclada de excelente qualidade, limpo e de configuração adequada a uma infinidade de aplicações. Após a recepção dos pneus usados, estes são encaminhados para um processo sucessivo de trituração, onde se obtém pedaços de pneus com várias granulometrias e algumas impurezas, estas passam por uma mesa densimétrica e são posteriormente embaladas (Biosafe 2012).

Estes granulados têm diferentes granulometrias, como se pode analisar na Tabela 2.6. Os granulados identificados nesta tabela apresentam aplicações muito diversificadas (Biosafe 2012): drenagem de águas, indústria da borracha, indústria de pneus, indústria do calçado, pavimentos desportivos e recreativos, pavimentos equestres, pavimentos para parques infantis e superfícies de absorção de impacto.

Tabela 2.7 - Gama de granulados produzidos pela Biosafe (Biosafe 2012)

Referência	Granulometria (mm)
FB 00-08	0,0 – 0,8
GB 08-25	0,8 – 2,5
GB 25-40	2,5 – 4,0
GB 40-70	4,0 – 7,0
GB 70-95	7,0 – 9,5

Descrição do processo de fabrico da Recipneu

A Recipneu é uma empresa produtora de granulados de borracha, a partir de pneus em fim de vida. A tecnologia instalada utiliza o processo criogénico. Esta tecnologia, rara na Europa à escala industrial, proporciona granulados de borracha, criogénicos, de superior qualidade, para aplicações como matéria-prima e como produto final. De acordo com a Recipneu (Recipneu 2012), o processo industrial desenvolve-se em três etapas:

1. Fragmentação da matéria-prima;
2. Processamento criogénico;
3. Ensacamento e armazenamento.

A primeira fase consiste na fragmentação de pneus ligeiros e pesados em pequenos troços, de secção homogénea, através de um processo de corte por lâminas, obtendo-se assim o produto designado como chip. Na segunda fase, realiza-se a separação completa e individualizada da borracha, aço e têxteis sem desperdício ou perdas apreciáveis de material. É um processo contínuo, controlado automaticamente, e desenrolado sob atmosfera inerte, constituído por três fases:

1. Arrefecimento criogénico. Os *chips* são lançados num túnel imergindo em azoto líquido, a cerca de -196 °C, dando-se uma permuta de frio entre os chips à temperatura ambiente e o azoto líquido. Arrefecendo-se os chips até uma temperatura de -80 °C, atinge-se o ponto de transição vítreo (Tg) de todos os polímeros constituintes da borracha, ou seja, a “borracha” comporta-se como vidro.

2. Moagem criogénica. Sob uma atmosfera inerte e muito fria, os chips “congelados” a -80 °C são sujeitos a um fortíssimo impacto, em moinhos de martelos especiais, estilhaçando-se instantaneamente em pequenos grânulos de diferentes dimensões.
3. Separação dos diferentes materiais, secagem, classificação e purificação do produto final.

O processo completa-se com as seguintes operações: separação densimétrica dos têxteis, separação magnética do aço, secagem da borracha granulada, classificação granulométrica da borracha em dimensões padrão e eliminação de poeiras e outros resíduos contaminantes (Recipneu 2012).

Na última fase, da linha criogénica, o granulado obtido transita para diversos silos, de onde é ensacado, sobre paletes, em *big-bags* de ráfia sintética, com capacidade para cerca de 1,2 toneladas. O produto embalado é depois armazenado até à expedição.

De acordo com (Recipneu 2012), o processo criogénico (muito frio, muito rápido, e sob atmosfera inerte) não degrada química nem termicamente as cadeias moleculares dos polímeros de borracha, nem o seu estado de vulcanização. As suas propriedades elásticas (absorção de impactos; recuperação elástica) não são alteradas, mantendo-se intactas ao longo do tempo. Os agentes protectores existentes na borracha (antioxidantes, estabilizantes aos UV e outros) mantêm-se eficazes, resultando numa elevada resistência ao envelhecimento atmosférico.

O granulado criogénico tem as seguintes características distintiva (Recipneu 2012), cumpre a norma DIN V 18035-7 relativa à emissão de lixiviados de metais pesados e de poluentes orgânicos; odor a borracha nulo; não liberta negro de fumo (não suja nem a pele, nem a roupa); resistente à radiação UV; resistente ao impacto climático; resistente à abrasão; Resistente à compactação e à fricção; Não flutuante ou de flutuabilidade reduzida; estável no local e no tempo; muito boa resposta elástica por unidade de massa; supera o teste ao teor de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (inocuidade/toxicologia); inócuo para a saúde – Conforme a Administração de Segurança e Saúde Ocupacional nº 1218-0072.

Em diversas aplicações industriais o granulado criogénico revela-se uma matéria-prima eficaz e de grande valia, sempre e quando se trata de utilizar partículas de reduzidíssimas dimensões (pó de borracha) e quando a elasticidade e a durabilidade são requisitos importantes. Geralmente é considerado um importante instrumento na competitividade, pela redução dos custos industriais (Recipneu 2012). Estes granulados têm diferentes granulometrias, como se pode verificar na Tabela 2.8.

Tabela 2.8 - Gama de granulados produzidos pela Recipneu (Recipneu 2012).

Referência	Granulometria (mm)
DC – 8000	< 0,18
DC – 3800	0,18 – 0,60
DC – 1430	0,60 – 1,40
DC – 1014	1,00 – 2,00
DC – 0814	1,00 – 2,40
DC – 0410	2,00 – 4,75
DC – 0308	2,40 – 6,30
DC – OV	6,30

Os granulados identificados na Tabela 2.7 apresentam aplicações muito diversificadas: pavimentos desportivos; enchimento de campos de futebol, rugby, golfe em relva sintética; pavimentos rodoviários de baixo ruído; betume modificado com borracha; misturas asfálticas ecológicas; pisos para desportos hípicas; pisos para parques infantis; matéria-prima para a indústria dos artefactos de borracha; matéria-prima para a indústria siderúrgica; matéria-prima para a indústria dos painéis termo-acústicos (Recipneu 2012).

2.4.3.3 Valorização energética

Os pneus usados representam um combustível suplementar alternativo, com o mesmo poder calorífico do carvão, com percentagens mais baixas de enxofre em relação ao carvão. Uma tonelada de pneus usados é equivalente a uma tonelada de carvão de boa qualidade ou 0,7 toneladas de óleo combustível (Blic, 2003).

O seu aproveitamento permite poupar desta forma o consumo de combustíveis tradicionais (combustíveis fósseis), para além da redução de emissões obtida por combustão da biomassa constituinte do pneu (derivado da borracha natural) (Valorpneu, 2012).

As principais utilizações são em estações de energia eléctrica, como combustível dedicado, os pneus usados são utilizados como combustível alternativo ao carvão, normalmente não é necessário nenhuma modificação na estação (Blic 2003); e em fornos de cimento, pneus usados inteiros ou triturados são utilizados como combustível suplementar em vez dos combustíveis tradicionais.

A co-incineração em cimenteiras aproveita todos os componentes do pneu. Os componentes combustíveis dos pneus são incinerados para gerar calor, as outras substâncias, como a sílica e o aço, são usados como matérias-primas secundárias na produção de cimento, substituindo recursos naturais, como a sílica e o óxido de ferro (Blic 2003).

Em 2010 houve uma mudança de tendências: observou-se uma redução na recuperação de energia (3%) e um aumento na recuperação de materiais (10%) (Aliapur 2010). Em números, isso significa que 1,3 milhões de toneladas de pneus usados foram para recuperação de materiais e 1,2 milhões de toneladas para recuperação de energia, sendo a recuperação de materiais, agora, o percurso principal de recuperação (40%), seguido pela recuperação de energia (38%). O principal utilizador de fragmentos de pneus e de pneus inteiros continua a ser a indústria do cimento (92% em volume), enquanto as estações de energia eléctrica consomem o restante (Aliapur 2010).

Actualmente, a Valorpneu opera com quatro instalações de valorização energética: as três fábricas de cimento do Grupo Secil, localizadas em Maceira, Pataias e Outão, e a instalação de cogeração da empresa Recauchutagem Nortenha, localizada em Penafiel (Valorpneu 2012).

2.5 Análises de ciclo de vida realizadas aos pneus

Ao longo dos últimos sete anos foram realizadas várias análises de ciclo de vida, para comparar os impactes ambientais das diversas vias de recuperação dos pneus usados e para inferir qual a fase de ciclo de vida que tem maiores impactos ambientais, o que forneceu à indústria um conhecimento maior sobre o ciclo de vida dos pneus usados. Quase todo o impacto ambiental de um pneu ocorre durante a sua fase de utilização, principalmente como resultado da utilização do veículo e das emissões de dióxido de carbono. O desgaste do pneu e os detritos do desgaste da estrada contribuem para um menor impacto ambiental da fase de utilização (Development 2008).

A Blic realizou em 2001 um vasto estudo de análise de ciclo de vida dos pneus e concluiu que a fase do ciclo de vida com maior efeito negativo no ambiente é a fase de utilização, ponderando a quantidade de energia que move o veículo disposto a vencer a oposição do pneu ao movimento. Como consequência desta oposição origina não só o consumo de combustível, como a deterioração do próprio pneu. De acordo com estes resultados, o parâmetro em que deve existir maior empenho para melhorar é o da resistência ao rolamento do pneu.

A Continental AG, num estudo publicado em 2006, confirmou que a fase de maior impacto global é a fase de utilização. No entanto, neste trabalho da Continental, clarifica-se que a fase de utilização

não representa o maior impacto nas classes “consumo de água”, “impactos negativos nas águas residuais” e “resíduos”. Para estas classes a fase com maior impacto é a fase de “aquisição de matérias-primas”. Este estudo foi realizado ponderando só o mercado alemão e rejeitando da análise os impactos da reciclagem material, dirigindo atenção só à recauchutagem e valorização energética na produção de cimento e na produção de energia. Não analisa a reciclagem material, pois na Alemanha esta quase não tem representação e a valorização energética é responsável por cerca de 50% dos destinos dos pneus usados.

A SDAB, num trabalho publicado em 2007, veio confirmar também que a utilização de pneus usados é ambientalmente vantajosa em comparação com o uso de matérias-primas virgens.

Com base num estudo conduzido pelo departamento de investigação e de desenvolvimento da Aliapur, foram comunicados publicamente, a 2 de Fevereiro de 2010, em Paris, os resultados da análise do ciclo de vida dos pneus usados. Os trabalhos incidiram sobre nove vias de valorização de pneus usados, nomeadamente siderurgia, bacias de infiltração, bacias de retenção, aquecimento urbano, cimenteiras, fundição, relva sintética, peças moldadas e pisos equestres. Tratou-se de responder a três objectivos: apreciar o interesse ambiental de cada uma das vias de valorização, comparar os impactos ambientais gerados e evitados por cada via e identificar os pontos-chaves a utilizar em face da optimização económica da fileira. Os resultados demonstraram que qualquer que seja a via de valorização estudada, os benefícios dos pneus em fim de vida são favoráveis ao ambiente.

Segundo (ETRMA 2011), excluindo o destino final para aterro, todas as outras alternativas têm uma carga ambiental baixa ou mesmo negativa, por outras palavras, um efeito positivo sobre o ambiente devido à produção de produtos úteis. A opção mais atractiva é a reciclagem, a incineração em centrais eléctricas ou em fornos de cimento, tem um efeito neutro ou positivo sobre o ambiente, dependendo da metodologia de avaliação de impacto utilizada.

Capítulo 3 Metodologia de Análise de ciclo de vida (ACV)

3.1 Enquadramento

O termo ACV, ou em inglês, *Life Cycle Assessment* (LCA) foi pela primeira vez empregue nos EUA, em 1990. A denominação histórica para estes estudos de ciclo de vida ambiental, usados nos EUA desde 1970, era “Resource and Environmental Profile Analysis” (REPA) (Hunt, Franklin et al. 1996).

Um dos primeiros trabalhos quantificando as necessidades de recursos, emissões e resíduos provocados por diferentes embalagens de bebidas foi conduzido pelo "Midwest Research Institute" (MRI) para a Companhia Coca Cola em 1969. Um dos resultados interessantes do estudo da Coca-Cola foi mostrar que as garrafas de plástico não eram piores, do ponto de vista ambiental, do que as de vidro. Anteriormente, os plásticos tinham a reputação de um produto indesejável em termos ambientais, tendo o estudo REPA demonstrado, que esta fama era fundamentada em más interpretações (Hunt, Franklin et al. 1996).

No final de 1972 o mesmo instituto (MRI) iniciou um estudo nas embalagens de cervejas e sumos, encomendado pela *U.S. Environmental Protection Agency* (USEPA), o qual marcou o início do desenvolvimento da ACV como se conhece hoje (José Ferreira 2004). A intenção da USEPA era examinar as implicações ambientais da utilização de embalagens de vidro reutilizáveis em vez de latas e garrafas não reutilizáveis, porque na altura as garrafas reutilizáveis estavam a ser rapidamente substituídas por embalagens não-reutilizáveis.

A partir de 1990 houve um notável crescimento das actividades ACV na Europa e nos EUA, o qual é reflectido no número de *workshops* e outros fóruns que têm sido organizados principalmente pela "Society of Environmental Toxicology and Chemistry" (SETAC).

Através dos seus ramos na Europa e EUA, a SETAC desempenha um papel fundamental em reunir profissionais, utilizadores e investigadores para colaborarem no melhoramento contínuo da metodologia ACV. Em 1992 foi formada a Sociedade para a Promoção do Desenvolvimento de Ciclo de Vida (SPOLD), com a missão de juntar recursos, para acelerar o desenvolvimento da metodologia ACV como uma abordagem de gestão aceite para ajudar na tomada de decisão (José Ferreira 2004).

Definição e aplicabilidade

A ACV é a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos potenciais impactes ambientais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida (fonte). O termo “ciclo de vida” refere-se à maioria das actividades no decurso da vida do produto incluindo a aquisição de matéria-prima necessária para a fabricação do produto, a sua fabricação, utilização, manutenção e deposição final (USEPA 2001). A Figura 3.1 ilustra os possíveis estágios de ciclo de vida que podem ser considerados numa ACV e as típicas entradas/saídas medidas (USEPA 2001).



Figura 3.1 - Estágios do ciclo de vida do produto (USEPA 2001)

Num estudo ACV de um produto ou serviço, todas as extracções de recursos e emissões para o ambiente são determinadas, quando possível, numa forma quantitativa ao longo de todo o ciclo de vida, desde que "nasce" até que "morre" - *“from cradle to grave”*, sendo com base nestes dados que são avaliados os potenciais impactes nos recursos naturais, no ambiente e na saúde humana.

A ACV possibilita que cada grupo interessado abrangido no ciclo de vida, quer seja o produtor, quer seja o consumidor, consiga assumir a sua responsabilidade e contribuir para otimizar o total, é um instrumento de gestão para estratégias de inovação e eficiência que facilita a optimização ambiental do sistema de produto.

A abordagem holística de uma ACV acerca de um serviço ou processo de produção de um produto possibilita uma análise e apreensão global dos impactes ambientais. Como foi visto anteriormente, a ACV avalia todas as fases do ciclo de vida permitindo o cálculo de impactes ambientais cumulativos originários de todas essas fases. Proporciona o conhecimento de como as escolhas podem influenciar cada ponto do ciclo de vida, permitindo a avaliação de potenciais *trade-off* e

precaver o desvio de problemas de uma fase para outra, auxiliando os gestores a reduzirem os impactes negativos sobre o ambiente e saúde humana (Agency 2012).

Ao executar uma ACV, o analista pode (Agency 2012), desenvolver uma avaliação sistemática das consequências no ambiente e saúde humana de um determinado produto; analisar *trade-offs* ambientais associados a um ou mais produto/processo de forma a ganhar a aceitação dos *stakeholders* para a acção planeada; quantificar libertações para o ar, solos e águas em cada fase do ciclo de vida e/ou qual o processo que mais contribui; apoiar na identificação de mudanças de impactos ambientais significativos de alteração entre as fases do ciclo de vida e as áreas ambientais; avaliar os efeitos humanos e ecológicos do consumo de matéria e libertações ambientais para a comunidade local, regional ou mundial; comparar os impactes na saúde e ecológicos entre dois ou mais produtos/processos rivais ou identificar os impactes de um produto específico ou processo; identificar impactes numa ou mais áreas ambientais específicas de preocupação.

3.2 Regulamentação normativa

Com o objectivo de uniformizar as metodologias inerentes à regulamentação normativa e a outras ferramentas estruturadas de gestão ambiental, a ISO criou, em 1994, o comité TC207, tendo sido publicadas as seguintes quatro normas relativamente a ACV (José Ferreira 2004):

- ISO 14040:1997 - “*Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*”, relativa aos princípios e à metodologia de avaliação do ciclo de vida;
- ISO 14041:1998 - “*Environmental management – Life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory analyses*”, relativa à definição dos objetivos, âmbito e análise do inventário;
- ISO 14042:2000 - “*Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle impact assesment*”, relativa à avaliação de impactes associados ao ciclo de vida;
- ISO 14043:2000 - “*Environmental management – Life cycle assessment – Lyfe cycle interpretation*”, relativa à interpretação dos resultados do inventário e da avaliação de impactes associados ao ciclo de vida.

Em 2006 foram publicadas as seguintes normas:

- ISO 14040:2006 - “*Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*”

- ISO 14044:2006 - “*Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and Guidelines*”

Esta última ISO substitui a 14041, 14042 e 14043, embora não existam grandes alterações ao conteúdo. Contudo, as normas surgem numa perspectiva descritiva e não prescritiva, ou seja, identificam conceitos chave, ferramentas e aproximações mas não fornecem instruções passo a passo para conduzir uma ACV. Esta flexibilidade permite aos analistas de ACV conduzir uma avaliação usando o melhor julgamento técnico, deixando no entanto, detalhes metodológicos sem resposta o que levanta questões na fase de inventário e no modelo de avaliação de impacto (Joel Todd 1999).

3.3 Etapas de ACV

O processo ACV é uma sistemática abordagem faseada composta pelas seguintes quatro componentes, como se ilustra na Figura 3.2 (ISO 14040: 1997).

1. Definição de objectivo e âmbito – Define e descreve o produto/serviço; estabelece o contexto no qual a análise é efectuada e identifica as fronteiras e efeitos ambientais a ser revistos pelo estudo;
2. Análise de inventário – Identifica e quantifica energia, água e materiais usados e descargas para o ambiente (emissões gasosas, líquidas, lixo sólido);
3. Análise de impacto – determina os efeitos ecológicos e avalia o potencial humano dos componentes identificados na fase de inventário;
4. Interpretação dos resultados – Avalia os resultados das duas fases anteriores com compreensão da incerteza e as considerações usadas para obter os resultados.

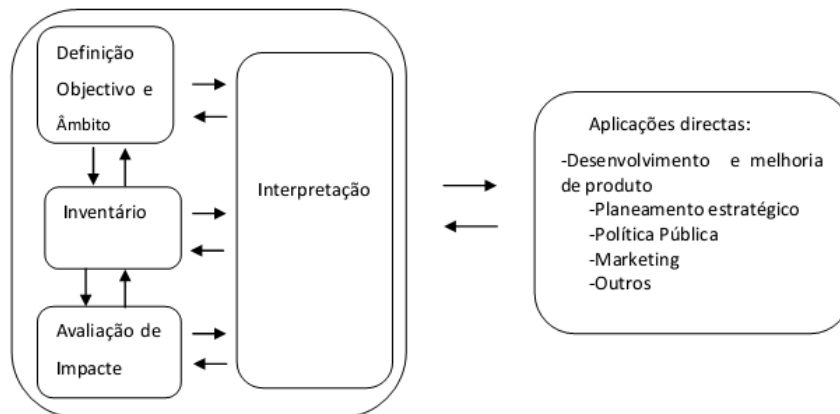


Figura 3.2 - Fases de uma análise de ciclo de vida (Fonte: ISO 14040: 1997)

3.4 Definição de objectivo e âmbito

De acordo com a Norma ISO 14040 (fonte), o “(...) objectivo de um estudo de ACV deve expor de forma não ambígua a aplicação planeada, as razões para levar a cabo o estudo e a audiência pretendida, isto é, a quem irão ser comunicados os resultados do estudo”. Na definição de âmbito devem ser considerados e descritos claramente, as funções do sistema de produto, ou em caso de estudos comparativos, os sistemas; a unidade funcional; o sistema de produto a ser estudado; os limites do sistema de produto; os procedimentos de alocação; as categorias de impacte e metodologias de análise de impacte e subsequente interpretação a ser utilizada; os requisitos dos dados; os pressupostos; as limitações; os requisitos iniciais de qualidade dos dados; o tipo de revisão crítica; e o tipo e formato de relatório requerido para o estudo. A definição do âmbito deve ser efectuada para que a extensão, profundidade e o detalhe do estudo possibilitem alcançar os objectivos estabelecidos.

3.4.1 Função do sistema e unidade funcional

Conforme a norma ISO 14040, as funções do sistema a ser estudado devem estar descritas, sendo a unidade funcional uma medida do desempenho das saídas funcionais do sistema de produto, que constitui referência das entradas e saídas. A escolha da unidade funcional deve considerar a função do objecto de estudo ou seja, do ponto de vista do utilizador, tendo em consideração a eficácia e durabilidade do produto. Nos estudos comparativos, os sistemas necessitam de ser definidos de

modo a que uma quantidade igual de produto ou serviço equivalente é entregue/concedido ao consumidor (Joel Todd 1999).

3.4.2 Limites do sistema

Na ACV de um sistema de produto é de extrema importância que os seus limites estejam evidentemente definidos. É revelante que sejam compreendidos todos os aspectos que possam afectar o significado global. Uma exclusão do sistema global revela uma decisão do analista, esta deve ser fundamentada e devem estar subjacentes as possíveis consequências dessa exclusão. Dependendo do objectivo do estudo é viável suprimir algumas fases do ciclo de vida do processo da ACV.

De acordo com a norma ISO 14040 o critério para a definição dos limites deve ser identificado e justificado no âmbito do estudo. Factores como a aplicação do estudo, os pressupostos assumidos, os critérios *cut-off* que limitam o sistema só a processos com contribuições relevantes para alguns *inputs* e *outputs*, restrições de dados e custos e a público-alvo, confinam os limites do sistema. Os critérios descritos, na norma ISO 14041, para a decisão de exclusão ou não de partes do sistema do produto, são a massa energia e a relevância ambiental, desde que garantido o suporte científico do estudo.

3.4.3 Qualidade dos dados

Segundo a norma ISO 14040, a qualidade dos dados deve mencionar a cobertura temporal, cobertura geográfica, cobertura tecnológica, precisão, integridade e representatividade dos dados, consistência e reprodutibilidade dos métodos utilizados ao longo da ACV, fonte dos dados e sua representatividade e incerteza da informação. Os requisitos de qualidade devem ser definidos de forma a possibilitar alcançar os objectivos e âmbito da ACV, sendo que apresentam em termos gerais as características dos dados necessários ao estudo.

3.5 Inventário

Nesta fase da ACV são quantificadas a energia e matérias-primas requeridas, emissões atmosféricas, resíduos sólidos, descargas líquidas e outras descargas ao longo de todo o ciclo de vida do produto (Ferrão 1998). A análise de inventário produz uma lista de quantidades de poluentes libertados para o ambiente e quantidade de energia e matéria-prima consumida e concretiza-se nas seguintes fases, construção da árvore do processo; definição dos limites do processo; recolha de dados; procedimentos de cálculo; análise dos resultados e redefinição dos limites do sistema (caso seja necessário). Trata-se de um processo interactivo, pois à medida que se

recolhem os dados e informação sobre o sistema, novas exigências de dados ou limites podem ser descobertos, forçando a uma alteração nos procedimentos de recolha de dados ou até mesmo, na revisão do objectivo e âmbito do estudo e limites do sistema (Ferrão 1998).

3.5.1 Árvore de processo

A árvore de processo é formada por um diagrama de blocos que permite de forma compreensível evidenciar os processos unitários que constituem o sistema e a relação entre eles, numa vista global do processo em estudo (Ferrão 1998). O sistema considerado e a disponibilidade dos dados vão definir a complexidade do diagrama de blocos, sendo que ao longo do estudo poderá existir a necessidade de subdividir um determinado processo e agrupar outros por falta de informação detalhada para a sua caracterização (Ferrão 1998).

3.5.2 Recolha de dados

De acordo com a norma ISO 14040, todos os dados qualitativos e quantitativos para cada processo unitário, dentro dos limites do sistema, devem ser recolhidos. O sistema internacional de unidades (SI) deve ser utilizado para exprimir todas as emissões e extracções. Idealmente, os dados recolhidos devem ser obtidos na empresa que opera o processo em estudo, mas caso estes não estejam disponíveis, podem ser utilizados outras fontes, como dados de projectos de processos, cálculos de engenharia, baseados na química e tecnologia dos processos, estimativas de operações semelhantes e bases de dados publicadas (Ferrão 1998).

A qualidade dos dados deve ser coerente com os objectivos e âmbito definidos para o estudo, devendo ser documentadas as bases de todos os dados. O balanço mássico e energético deve ser completo, ou seja, o somatório das massas/energia de entrada deve ser igual ao somatório das massas/energia de saída (Ferrão, 1998). Após a recolha dos dados sobre os processos elementares, deve ser verificada a adequabilidade da quantidade e qualidade dos mesmos com as expectativas iniciais de forma a averiguar a necessidade de redefinição ou não dos limites do sistema (Ferrão 1998).

3.5.3 Procedimentos de cálculo

O processamento de dados implica a sua transformação para permitir o cálculo das contribuições dos diferentes impactes gerados ao longo do ciclo de vida. Esta transformação é geralmente executada com o apoio de programas informáticos desenvolvidos particularmente para ACV (Ferrão 1998). A quantidade de cada componente/substância é agrupada e construída a tabela de inventário.

3.5.4 Análise dos resultados

Esta análise é executada tendo em consideração os objectivos e o âmbito do estudo. A consistência dos resultados alcançados pode ser avaliada recorrendo a indicadores de confiança (grau de verificação e base - estimativa ou medições), de integralidade (representatividade dos dados), de correlação temporal (diferença de tempo face ao estudo), de correlação geográfica (área de recolha dos dados), correlação tecnológica (processos considerados – da empresa ou não, idênticos ou não, tecnologia - idêntica ao do processo em estudo ou semelhante) (Ferrão 1998).

3.6 Avaliação de impacte

Os impactes são definidos como as consequências causadas pelos fluxos de entrada e saída de um sistema na saúde humana, flora e fauna ou na disponibilidade futura de recursos naturais. Nesta fase da ACV pretende-se caracterizar e avaliar os efeitos das cargas ambientais identificadas na fase de inventário. Este processo possibilita, pelo maior conhecimento acerca dos potenciais impactes ambientais, reconhecer os dados de inventário mais relevantes e facilitar a agregação e interpretação dos dados de inventário em configurações mais fáceis de trabalhar e significativas para a tomada de decisão (Pereira 2005).

A avaliação de impactes possibilita a percepção da ligação entre o sistema e potenciais impactes. Segundo a norma ISO 14044:2006 a fase de análise de impactes envolve elementos obrigatórios e opcionais.

3.6.1 Elementos obrigatórios

Seleção das categorias de impacte e classificação

A selecção das categorias de impacte deve, para direccionar a recolha de dados na fase de inventário, ser efectuada durante a fase inicial da definição de objectivos e âmbito. A classificação permite estabelecer correspondência de cada elemento recolhido na tabela de inventário com a devida categoria de impacte. Esta relação é constituída pela atribuição de pesos que ponderam a contribuição das diferentes intervenções ambientais em cada categoria de impacte ambiental (Pereira 2005).

Existem elementos da tabela de inventário que contribuem apenas para uma categoria de impacte como é o caso do dióxido de carbono (CO₂) que é totalmente classificado na categoria de aquecimento global, e neste caso, a atribuição é directa e existem elementos que contribuem para

mais do que uma categoria de impacte, como é o caso do dióxido de enxofre (SO_2) que pode ficar ao nível do solo ou viajar na atmosfera afectando a saúde humana e a acidificação (Pereira 2005).

Caracterização

Nesta fase, os valores de indicador são calculados para cada categoria de impacto utilizando factores de caracterização. As substâncias que contribuem para uma categoria de impacto são multiplicadas por um factor de caracterização que exprime a contribuição relativa da substância (Pereira 2005).

Por exemplo, o factor de caracterização para o CO₂ na categoria de impacto Alteração Climática é igual a 1, enquanto para o metano pode ser de 21 significando que a libertação de 1 kg de metano potencia uma alteração climática igual a 21 kg de CO₂. O resultado total é expresso em indicadores de categoria de impacto que para o exemplo referido é kg de CO₂.

3.6.2 Elementos opcionais

Normalização

A normalização dos resultados do indicador significa calcular a sua magnitude relativamente a uma informação de referência, de forma a compreender melhor a magnitude relativa de cada resultado do indicador do sistema em estudo.

Ponderação

A ponderação envolve a atribuição de pesos ou valores relativos às diferentes categorias de impacto reflectindo a sua importância relativa no estudo. Em estudos comparativos este processo não deve ser aplicado.

3.7 Métodos de avaliação de impactes

Geralmente num estudo de ACV, uma ou várias das metodologias de avaliação de impactes existentes são empregues, ou na íntegra ou efectuando-se algumas alterações que se justifiquem necessárias para possibilitar a aquisição de resultados mais confiáveis. A selecção da metodologia e das categorias de impacto está profundamente relacionado com o objectivo e âmbito definidos.

Os modelos utilizados para a avaliação de impactes são geralmente versões simplificadas de modelos mais sofisticados dentro de cada categoria e podem ser adequados para comparações relativas de danos humanos ou ambientais mas não como indicadores do risco absoluto ou dano actual na saúde humana ou no ambiente (Joel Todd 1999).

De forma a simplificar o processo e tornar o inventário mais abrangente, a modelação é tipicamente conduzida para um nível intermédio do mecanismo ambiental, uma abordagem *Midpoint*. Existem no entanto, métodos que apresentam uma abordagem orientada para o dano, ou seja para o ponto final do mecanismo ambiental - *Endpoint*. O primeiro tipo de abordagem, minimiza as previsões e o efeito de modelação incorporado na avaliação de impactes, reduzindo a complexidade da modelação e por vezes simplificando a comunicação. Esta abordagem pode minimizar pressupostos e escolhas de valor, reflectindo um nível de consenso social mais elevado e pode ser mais compreensivo do que um modelo baseado numa abordagem *Endpoint* (Myers 2008).

3.8 Interpretação

Segundo a norma ISO 14043:2000, esta é a última fase do processo de ACV, é um procedimento que tem como objectivo identificar, qualificar, verificar, analisar resultados, chegar a conclusões, esclarecer limitações, sugerir recomendações baseadas nas descobertas nas fases precedentes e relatar os resultados da interpretação de modo transparente de forma a encontrar os requisitos da aplicação como o descrito no objectivo e âmbito do estudo (Pereira 2005).

A interpretação é realizada tendo em conta as três fases de ACV anteriores. Se os resultados obtidos na análise de inventário ou análise de impactes não cumprirem os requisitos definidos no objectivo e âmbito do estudo, a análise de inventário deve ser revista. A interpretação dos resultados de um estudo de ACV é um procedimento complexo, todas as decisões tomadas nas fases de inventário e avaliação devem ser abrangidas nos resultados finais, de forma a tornar claras e compreensivas as conclusões retiradas dos dados.

No final, pode acontecer que não se possa definir uma alternativa como melhor que outra devido à incerteza dos resultados, no entanto, o processo de ACV vai sempre fornecer informação detalhada e ajudar a perceber os impactes associados a cada alternativa e assim ter conhecimento dos pós e contras de cada uma delas (Myers 2008).

3.9 Limitações de ACV

Embora a ACV seja um instrumento que proporciona uma quantidade de informação considerável e de elevada importância acerca do ciclo de vida de um produto, processo ou serviço, não permite garantir qual é melhor do ponto de vista dos três pilares da sustentabilidade (ambiental, económico e social), devendo ser aplicada como parte no método de decisão juntamente com outras ferramentas de avaliação (José Ferreira 2004).

A grande limitação deste tipo de estudos relaciona-se com a dificuldade em obter dados reais do objecto em estudo, recorrendo-se, na maior parte das vezes, a informações presentes em bases de dados ou bibliografia. Deve sempre ser tido em conta que a disponibilidade de dados e a sua qualidade pode afectar os resultados finais e que a execução de uma ACV extensiva e completa é extraordinariamente onerosa em termos de tempo e custos (José Ferreira 2004).

3.10 Simplificação de ACV - Streamlined Life Cycle Assessment

Uma ACV completa necessita de um investimento financeiro elevado e de muito tempo. Por estes motivos, e também pelo fato de a disponibilidade de dados ser, por vezes, limitada, tornou-se necessário conduzir processos de ACV simplificados, designados na literatura anglo-saxónica por “*SLCA – Streamlined Life Cycle Analysis*” (Joel Todd 1999).

Na realidade, todos os estudos de ACV efectuados são simplificados. Os processos industriais estão globalmente interligados de forma tão extensiva que a consideração de todas as interdependências seria impraticável. A questão não se coloca na possibilidade de efectuar uma ACV simplificada, mas sim em averiguar o quanto a simplificação é apropriada e que aproximações levam a resultados mais rigorosos (Joel Todd 1999).

Em 1994, a SETAC North America concebeu um grupo de trabalho especializado em ACV do tipo *streamlined* com o objectivo de estudar as metodologias utilizadas e tentar padronizar o processo. No relatório “*Streamlined Life-Cycle Assessment: A final Report from the SETAC North America Streamlined LCA Workgroup*” (Joel Todd 1999) estão referidas algumas aproximações.

A metodologia de ACV do tipo *streamlined* pode ser utilizada por limitações dos objectivos do estudo ou simplificação dos procedimentos de modelação, limitando as quantidades de dados e informação necessária (Joel Todd 1999). Como consequência destas limitações impostas, haverá uma simplificação do inventário de ciclo de vida, quer por eliminação de fase do ciclo de vida, quer por redução dos dados requeridos nos processos unitários (Joel Todd 1999).

No relatório supracitado são identificadas as aproximações utilizadas em ACV do tipo *streamlined*. Relativamente à eliminação de fases do ciclo de vida, esta envolve a eliminação das fases anteriores à produção ou as posteriores ou ainda de ambas. Em relação às questões a abordar, apenas são seleccionadas aquelas com maior relevância sendo o principal foco o seu estudo. Há um acompanhamento ao longo de todo o ciclo de vida do produto, apenas nas categorias consideradas mais relevantes.

Nesta metodologia, quando não existem dados do processo em causa recorre-se a dados de processos semelhantes, e são excluídos os componentes que contribuem com menos que uma determinada percentagem específica do processo ou produto, ou seja, têm um contributo insignificante para o processo. Habitualmente, na ACV esta percentagem ronda os 1%, o uso de uma percentagem mais elevada é aceitável num ACV do tipo *streamlined*. Portanto, são limitados os itens estudados e destacados aqueles que terão à partida maior importância para o produto em causa.

Capítulo 4 Pressupostos, análise e discussão dos resultados da análise de ciclo de vida realizada a uma placa de granulado de borracha de pneu usado para isolamento térmico

4.1 Considerações prévias

Neste capítulo é realizada a ACV da comparação de placas de borracha granulada para isolamento térmico com a espuma de poliuretano rígido, são apresentados os pressupostos e os resultados obtidos da ACV realizada à produção de placas de isolamento térmico a partir de granulado de borracha de pneu usado com o objectivo de avaliar qual o impacte ambiental que tal placa terá no ambiente. A comparação com a espuma de poliuretano contribuirá para a compreensão da mais-valia desta placa relativamente à usual. A ACV possibilita uma avaliação holística do impacte ambiental de um produto. É, no entanto, uma ferramenta de complexidade elevada, acarretando um investimento económico e de tempo consideráveis (José Ferreira 2004). A outra limitação significativa deste tipo de estudos atribui-se à obtenção de dados, limitando as conclusões e a emprego do estudo (José Ferreira 2004).

No caso do produto a avaliar neste estudo, estas limitações foram encontradas, tendo sido bastante difícil a aquisição de dados para a realização de uma ACV tão completa quanto seria desejável. Foi necessário recorrer a algumas das simplificações explicitadas anteriormente e são aceitáveis, desde que convenientemente referidas e fundamentadas.

Para além da dificuldade em obter dados de produção directamente com o produtor, a ferramenta informática e base de dados utilizada para a elaboração deste trabalho não dispunha dos dados de alguns processos e materiais utilizados. Nestes casos foram utilizados dados da bibliografia consultada.

Pelas limitações encontradas na concretização do estudo de ACV foram procuradas outras formas de complementar as informações acerca do produto, igualmente numa perspectiva de ciclo de vida. Assim, além da ACV realizada foi utilizada uma outra metodologia de análise de ciclo de vida, de natureza quantitativa. É habitualmente designada por *Streamlined Lyfe Cycle Analysis*, sendo uma simplificação de um estudo de ACV.

4.2 ACV

A aplicação da ferramenta ACV foi concretizada com limitações relacionadas com a dificuldade na obtenção de dados. Foram seguidas as instruções dadas nas normas ISO existentes para este tema e aplicação da metodologia descrita acima.

4.3 Âmbito e objectivos

4.3.1 Definição do objectivo

O objectivo deste projecto consiste no estudo do desempenho ambiental da produção de placas de isolamento térmico a partir de granulado de borracha reciclada proveniente de pneus usados, possibilitando a determinação de quais os impactes mais relevantes, qual a origem dos mesmos e, consequentemente os pontos em que o produto deve ser melhorado. É realizada uma comparação relativamente à utilização do isolamento térmico feito com espuma de poliuretano rígido, mantendo idênticas as restantes condições do sistema, por forma a averiguar a vantagem da utilização do granulado de borracha em termos de impactes ambientais. Estas análises decorreram de acordo com as normas de ACV segundo a ISO 14040.

4.3.2 Definição do âmbito

Neste estudo, a unidade funcional (u.f.) foi definida como sendo a massa (kg) de placa de isolamento térmico, com a uma resistência térmica de $1 \text{ m}^2\text{K/W}$, de acordo com a proposta do conselho para os produtores europeus de materiais para construção (CEPMC 2000):

$$u.f. = R \lambda \rho A$$

Equação 4.1

Onde,

- R é a resistência térmica de $1 \text{ m}^2\text{K/W}$;
- λ é a condutividade térmica medida em $\text{W}/(\text{mK})$;
- ρ é a densidade do material em kg/m^3 ;
- A é a área de 1 m^2 .

A unidade funcional dá a informação sobre a quantidade de material isolante necessário para executar uma dada resistência térmica durante o tempo de vida de isolamento, focalizando-se apenas nas propriedades ambientais e de isolamento do material avaliado. Conforme a equação (1) e as propriedades termofísicas apresentadas na Tabela 4.1, a unidade funcional corresponde a uma

placa de granulado de borracha de 3,45 kg. Paralelamente, a unidade funcional considerada neste estudo para a espuma de poliuretano é de 0,805 kg.

Tabela 4.1 - Unidade funcional, em kg, necessária para obter uma resistência térmica de 1 m²K/W (Labrincha 2006; Fibrasom 2012)

	Granulado Borracha	Poliuretano	Unidades
λ	0,15	0,023	W/(mK)
ρ	23	35	kg/m ³
u.f.	3,45	0,805	kg

4.3.3 Categorias de impacte e metodologia de avaliação de impacte

A metodologia utilizada para a ACV foi a *CML 2000*, recorrendo ao *software* Umberto como ferramenta de modelação. As categorias de impacte consideradas no presente trabalho foram o aquecimento global e a depleção de recursos abióticos por serem as que reflectem as problemáticas ambientais mais relevantes para a gestão deste tipo de resíduo.

O indicador de depleção abiótica está relacionado com a extracção de minerais e de combustíveis fósseis que se introduzem no sistema. O factor de depleção abiótico (*ADP- Abiotic Depletion Potential*) é definido para cada extracção de minerais e de combustíveis fósseis baseado nas suas reservas e taxa de desaccumulação (José Ferreira 2004). O indicador de aquecimento global emprega o modelo de caracterização desenvolvido pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Os factores de caracterização são referidos como potencial de aquecimento global *Gobal Warming Potential* (GWP) em kg equivalentes de dióxido de carbono / kg de emissão (José Ferreira 2004).

O método *CML 2000* é um procedimento *multi-fase*, sendo um dos primeiros métodos de avaliação, desenvolvido e utilizado em vários países. A sua designação está relacionada com a entidade onde foi originado, o Centro de Gestão Ambiental da Universidade de Leiden, Holanda (José Ferreira 2004). A abordagem do método *CML 2000* é orientada para o problema, para cada problema, existem factores de caracterização quantificados (José Ferreira 2004).

4.3.4 Definição do sistema do produto

Na figura 4.1 está representado o sistema do produto estudado.

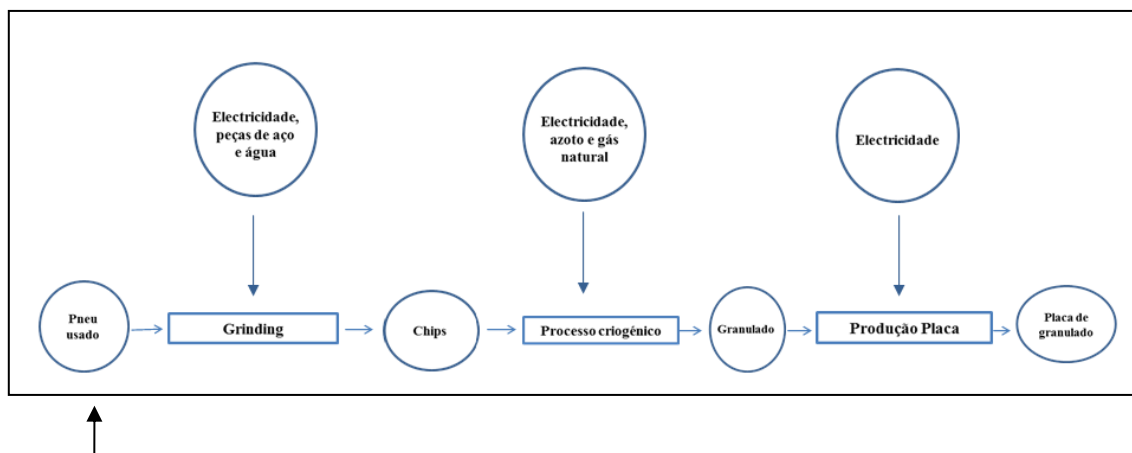


Figura 4.1 - Diagrama geral de todo o sistema de fabrico da placa de granulado de borracha

O primeiro passo é a produção de chips de pneus usados, de aproximadamente 7 a 10 cm, seguida da remoção da fracção metálica, além dos pneus usados, os outros *inputs* do processo de *grinding* são a electricidade, a água e o aço. O segundo passo é a redução de tamanho adicional dos chips em condições criogénicas, para se obter o granulado de borracha. O terceiro e último passo consiste na produção da placa de granulado de borracha.

4.3.5 Condições fronteira, limitações e pressupostos gerais

Para a realização da ACV *streamlined* foram obtidos, primeiramente, dados nacionais relativos à reciclagem criogénica e de produção de placas de isolamento térmico. Na escassez de informação detalhada necessária ao trabalho, recorreu-se a publicações científicas de âmbito europeu de modo a colmatar a ausência de informação. Tratando-se de um sistema onde se considerou que apenas um produto é obtido – a placa de isolamento térmico – todos os impactes decorrentes dos processos foram atribuídos a este produto.

Sendo o objectivo do presente estudo analisar os impactes ambientais da produção da placa do granulado, numa abordagem *gate-to-gate*, pretendendo-se apenas comparar as tecnologias de produção das placas de isolamento térmico e uma vez que se tratava de uma ACV *streamlined*, não foram considerados, o módulo do transporte, os impactes dos equipamentos, o destino dos restantes *outputs* dos processos, o transporte das matérias-primas até Portugal, considerou-se que os bens existiam no país.

De referir que se considerou a realidade nacional, mas na existência de informação ampliou-se o âmbito geográfico, utilizando valores de outros países europeus.

Relativamente à procura de informação, esta realizou-se de forma exaustiva, definindo-se um limite de 2% para os materiais e substâncias inventariados.

4.3.6 Classificação dos dados

Na Tabela 4.2 é possível verificar a classificação dos dados que foram utilizados neste estudo.

Tabela 4.2 - Classificação dos dados utilizados

	Especificidade dados			Fonte					Observações
	Produto	Site	Gerais	1	2	3	4	5	
Extracção de materiais			X			X			Base de dados Umberto
Processo de <i>grinding</i>									
Pneus usados			X			X			Base de dados Umberto
Electricidade			X						Base de dados Umberto
Aço			X			X			Base de dados Umberto
Água			X			X			Base de dados Umberto
Processo de pulverização criogénica									
Pedaços de pneus			X			X			Base de dados Umberto
Electricidade			X						Base de dados Umberto
Azoto			X			X			Base de dados Umberto
Vapor de água			X		X				Base de dados Umberto
Produção da placa									
Electricidade			X			X			Base de dados Umberto
Granulado de borracha			X		X				Base de dados Umberto

1) Medições; 2) Cálculos; 3) Extrapolação de dados de processos semelhantes (tipo e tecnologia); 4) Extrapolação de dados de processos diferentes (tipo e tecnologia); 5) Estimativa

4.3.7 Inventário do ciclo de vida

A apresentação do inventário do ciclo de vida é feita de acordo com as diferentes etapas da reciclagem do pneu usado até à obtenção da placa de isolamento térmico. As várias etapas consideradas no estudo foram a trituração (*grinding*), o processo de pulverização criogénica e a produção da placa de isolamento térmico.

4.3.8 Produção da placa de granulado borracha

Fase 1 – Processo *grinding*

O primeiro passo da reciclagem criogénica é o processo de produção de pedaços de pneu de aproximadamente 7 a 10 cm (*grinding*), acompanhado da remoção da fracção metálica. O equipamento é um triturador de eixo duplo com um único corte, os *inputs* do sistema são a electricidade, a água, o aço e os pneus usados.

Os dados utilizados foram retirados de *End life tyres: Alternative final disposal processes compared by LCA*. Os dados são referentes a uma fábrica que processa aproximadamente 3-3,5 t/h de pneus usados, apresentando o processo um elevado consumo de electricidade estimado a partir da potência instalada e do horário operacional dos equipamentos. As quantidades de *inputs* e *outputs* do processo de *grinding* são apresentadas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Quantidades de *inputs* e *outputs* do processo de *grinding* (Corti and Lombardi 2004)

Input	Output	Quantidades	Unidades
Pneus usados	-	1000	kg
Electricidade	-	170000	kJ
Água	-	150	kg
Aço	-	0,230	kg
-	Pedaços de pneus	966	kg
-	Resíduos de ferro	34	kg
-	Resíduos de aço	0,23	kg
-	Vapor de água	150	kg

Fase 2 – Processo de pulverização criogénica

Neste processo há uma redução ainda maior dos pedaços de pneu, em condições criogénicas, pelo qual é mais fácil de obter o tamanho desejado. Este procedimento executa a separação completa e particularizada da borracha, aço e têxteis. Os chips são expelidos num túnel submergido em Azoto líquido, a cerca de -196°C, dando-se uma troca de frio entre os chips à temperatura ambiente e o azoto líquido, os chips “congelados” são submetidos a um potente impacto, em moinhos de martelos especiais, estilhaçando-se instantaneamente em pequenos grânulos de diferentes dimensões. Seguidamente, dá-se a separação densimétrica dos têxteis, a separação magnética do aço e a secagem da borracha granulada com recurso ao vapor de água, conseguido através da queima do gás natural.

Também para este processo foram utilizados os dados de (Corti and Lombardi 2004). Os valores estimados a partir de recolha de dados por parte dos autores do artigo estão exibidos na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Quantidades de *inputs* e *outputs* do processo de pulverização criogénica (Corti and Lombardi 2004)

<i>Input</i>	<i>Output</i>	Quantidades	Unidades
Pedaços de pneu	-	1 000	kg
Electricidade	-	180 000	kJ
Azoto	-	703	kg
Vapor de água	-	38 759	kJ
-	Granulado de borracha	675	kg
-	Resíduos de ferro	265	kg
-	Fibras têxteis	60	kg
	Emissões de azoto	703	kg
	Vapor de água	38 759	kJ

Fase 3 - Produção placa de isolamento térmico

Para a produção da placa de granulado de borracha, apenas se considerou o consumo de electricidade. Não se considerou a adição de nenhum aditivo, assumindo que a produção das placas é realizada por *forming*, processo que consiste em moldar as placas dando forma ao produto através da utilização de calor e pressão. O inventário de dados relativo à produção da placa encontra-se na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Quantidades de *inputs* e *outputs* da produção da placa de granulado (ESKOM 2011)

<i>Input</i>	<i>Output</i>	Quantidades	Unidades
Granulado de borracha	-	1 000	kg
Electricidade	-	4140	kJ
-	Placa de granulado de borracha	1 000	kg

Relativamente a processos auxiliares, foram também considerados a electricidade consumida em Portugal para o ano de 2010 e a extracção de gás natural e o respectivo uso para a produção de gás natural, existentes na biblioteca do *software* Umberto. A constituição da electricidade consumida em 2010 foi: carvão (28.10%), fuelóleo (8.37%), gás natural (30.50%), biomassa (0.55%), hidroeléctrica (25.00%), resíduos (7.00%), geotérmica (0.33%), e eólica (0.15%) (ProBas 2010). De igual forma, o inventário do ciclo de vida da espuma de poliuretano rígido utilizado neste estudo foi retirado da biblioteca do *software* Umberto.

4.4 Modelação do ciclo de vida

A modelação foi efectuada recorrendo ao *software* Umberto, desenvolvido pela empresa alemã *ifu Hamburg GmbH*, que contém diversas bases de dados de distintos processos e fluxos. Ainda que a informação sobre os processos de produção da maioria dos componentes seja muito reduzida, procurou-se, dentro das limitações existentes, a escolha de processos representativos dos processos em estudo. No processo de modelação foi criado um sistema, com três processos que compõem o processo de produção “Processo de *Grinding*”, “Processo Criogénico” e “Produção da Placa”.

A ACV analisa o inventário dos dados de quantidade e energia de um sistema, para ser mais fácil a sua significado ambiental bem como a sua importância. Esta tradução utiliza, sempre que possível, indicadores numéricos para temas ou categorias específicos que reflectem de alguma maneira a carga do sistema ambiental ou a depleção dos recursos para essa categoria. Posteriormente, estes indicadores constituem uma carga ambiental e o perfil de depleção de recursos do sistema (Corti and Lombardi 2004). Os resultados da avaliação de impacto ambiental, referentes às duas categorias de impacto estudadas, encontram-se na Tabela 4.6, expressos pela unidade funcional.

Tabela 4.6 - Resultados da avaliação dos impactes ambientais

Categoria de impacto	Produção placa de granulado de borracha	Produção de espuma de poliuretano	Unidades
Depleção dos recursos abióticos	0,012	0,0306	kg Sb eq
Aquecimento global	2,223	3,2857	kg CO ₂ eq

A Figura 4.2 apresenta a comparação gráfica dos desempenhos ambientais dos dois produtos.

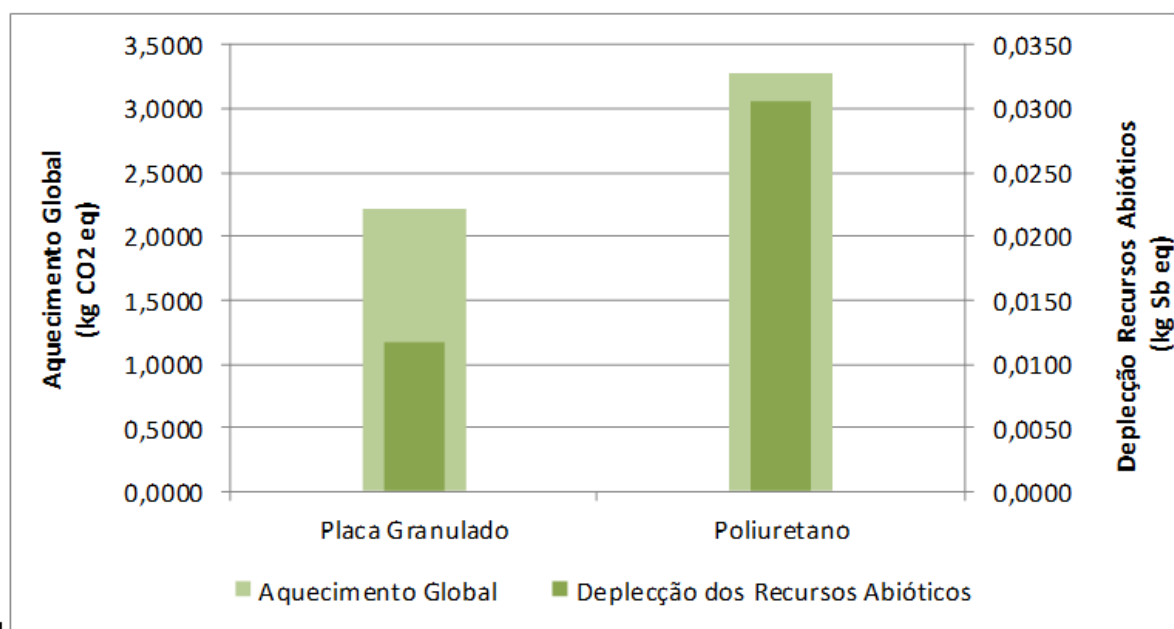


Figura 4.2 - Avaliação dos impactes ambientais – comparação dos materiais

Pela análise da Tabela 4.6 e da Figura 4.2, que exibem o desempenho ambiental dos dois produtos, pode-se destacar que, o poliuretano tem impactes maiores nas duas categorias estudadas, sendo de 60% a mais na categoria de depleção dos recursos abióticos e de 30% a mais na categoria do aquecimento global. Uma possível explicação pode ser devido à elevada utilização de combustíveis fósseis, bem como ao emprego de resinas e colas no processo de produção. A produção da placa de granulada de borracha tem um valor mais alto na categoria de aquecimento global, devido ao consumo de electricidade na produção da mesma.

Na Figura 4.3 está representada a avaliação dos impactes ambientais em cada processo da produção da placa de granulada.

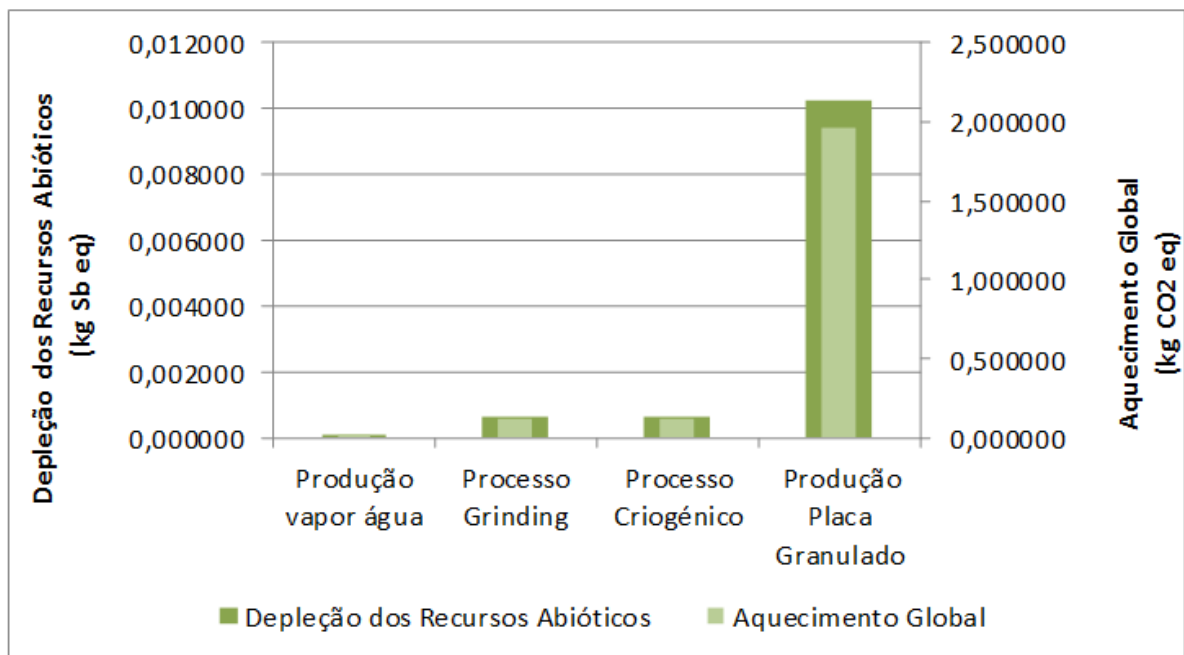


Figura 4.3 - Avaliação dos impactes ambientais do consumo de electricidade no sistema da produção da placa de granulado

Ao observar a Figura 4.3, que se refere ao sistema global de produção da placa de granulado de borracha, confirma-se que é o processo final de “produção da placa de granulado de borracha” que tem maior impacte ambiental em ambas as categorias de impacte estudadas, a depleção dos recursos abióticos e o aquecimento global.

4.5 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade é executada para identificar a significância da falta de dados para processos no sistema do produto, e a significância das incertezas encontradas na análise de incerteza. Os pressupostos incertos são variados ao longo de um intervalo estimado e a sua influência nos resultados finais, avaliados. Aqueles com maior e mais significância nos resultados de ACV são identificados. É realizada variando os pressupostos admitidos que ostentam uma maior contribuição dos impactes. No presente estudo foi realizada a análise de sensibilidade para os processos com maior contribuição para nas duas categorias de impacte: o consumo de electricidade e de vapor de água no processo criogénico.

Em relação ao consumo de electricidade, nesta análise, apenas se considerou o consumo da mesma na produção da placa de granulado de borracha, ignorando-se os valores de electricidade no

processo de *grinding* e no processo criogénico, por serem valores reais, estão sujeitos a incertezas menores. O valor de electricidade na produção da placa é teórico, advém de uma média de valores retirada de (ESKOM 2011), sendo que este pressuposto foi assumido porque não foi possível obter um valor originário de uma empresa produtora da mesma. Os impactes foram calculados para uma diminuição de 10, 20 e 30%, bem como para um aumento de 10, 20 e 30% no consumo da mesma, apresentando-se os resultados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Análise de sensibilidade para o consumo de electricidade na produção da placa de granulado de borracha

Categoria	Sistema base	-10%	-20%	-30%	Unidade
Depleção dos recursos abióticos	0,0117	0,0106	0,0096	0,0086	kg Sb eq kg
Aquecimento global	2,2231	2,0272	1,8314	1,6355	kg CO ₂ eq kg
Categoria	Sistema base	+10%	+20%	+30%	Unidade
Depleção dos recursos abióticos	0,0117	0,0127	0,0137	0,0147	kg Sb eq kg
Aquecimento global	2,2231	2,4190	2,6148	2,8107	kg CO ₂ eq kg

Em relação à análise de sensibilidade, ao analisar a Tabela 4.7, verifica-se que a diminuição de 20 e 30% do consumo de electricidade na produção da placa de granulado apresenta uma redução significativa para a depleção dos recursos abióticos e para o aquecimento global, de 17 e 26 por cento respectivamente. Já a diminuição de 10 não reflecte reduções significativas. Analogamente pode ser feita a mesma análise para o aumento de 10, 20 e 30%. É pertinente a aquisição de informação mais detalhada do processo de produção da placa, para conclusões mais realistas acerca do impacto do produto.

O segundo processo com maior contribuição nas duas categorias de impacto é o consumo de vapor de água no processo criogénico. O consumo de vapor de água foi calculado a partir do valor de gás natural recolhido da biblioteca do *software* Umberto, que considera que o gás natural tem uma densidade de 0,84 kg/m³. A análise de sensibilidade foi calculada da mesma forma que os anteriores, apresentando-se os resultados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Análise de sensibilidade para o consumo de vapor de água no processo criogénico

Categoria	Sistema base	-10%	-20%	-30%	Unidade
Depleção dos recursos abióticos	0,0117	0,0117	0,0117	0,0116	kg Sb eq kg
Aquecimento global	2,2231	2,2216	2,2201	2,2186	kg CO ₂ eq kg

Categoria	Sistema base	+10%	+20%	+30%	Unidade
Depleção dos recursos abióticos	0,0117	0,0117	0,0117	0,0117	kg Sb eq kg
Aquecimento global	2,2231	2,2246	2,2261	2,2276	kg CO ₂ eq kg

No entanto, como se pode constatar pelos resultados apresentados na Tabela 4.8, as variações de 10, 20 e 30% no consumo de vapor de água não são significativas, sendo inferiores a 1%.

Os resultados obtidos são uma mais-valia para o mercado de granulado de borracha na medida em que se apresenta como uma possível nova aplicação para este produto, demonstrando-se ambientalmente viável e contribuindo para a resolução da problemática da gestão de pneus usados em Portugal. A utilização do granulado de borracha para a produção de placas de isolamento térmico contribui para a valorização de recursos reciclado em detrimento da exploração dos recursos naturais. Embora esta nova aplicação seja ambientalmente viável, é necessário estudar a sua viabilidade técnica e económica, visto que, para os dois materiais em estudos terem a mesma resistência térmica, é necessário maior quantidade de granulado de borracha face à quantidade utilizada de espuma de poliuretano rígido.

A maior limitação que se teve que enfrentar para se conseguir alcançar os resultados finais está relacionada com a escassez de informação, dada maioritariamente à resistência dos produtores, em fornecer informação sobre os seus produtos, como tal recorreu-se à utilização de uma ACV *streamlined*, sendo que no futuro seria importante realizar uma ACV completa, que avaliasse todo o sistema de gestão da Valorpneu, bem como todos os destinos dos *outputs* dos processos estudados nesta dissertação.

Capítulo 5 Conclusões

A presente dissertação pretendia avaliar o desempenho ambiental da produção de placas de borracha granulada de pneus usados para isolamento térmico, pretendendo fornecer informações acerca dos impactes ambientais deste produto numa perspectiva de ciclo de vida. Pretendia-se também compreender a vantagem ambiental da utilização do granulado de borracha de pneu reciclado como substituto de matérias-primas virgens no mesmo produto, identificando uma possível forma de valorização deste resíduo. Para tal compararam-se os impactes ambientais da placa de borracha granulada com a espuma de poliuretano rígida, utilizadas para o mesmo fim, através da metodologia análise do ciclo de vida (ACV).

A comparação da utilização da espuma de poliuretano rígida, em vez de granulado de borracha, indica que para as duas categorias de impacte estudadas, a aplicação do granulado de borracha apresenta potenciais impactes menores. Estes resultados demonstram que existe potencial ambiental para a aplicação de granulado de borracha para a produção de placas de isolamento térmico. Dos resultados obtidos, o estudo de ACV da produção da placa de granulado de borracha indica como categoria de maior potencial impacte o aquecimento global. Os processos responsáveis por este impacte são o consumo de electricidade e produção do vapor de água.

O maior obstáculo encontrado no decorrer da concretização do presente estudo está relacionado com a escassez de informação, dada maioritariamente à resistência dos produtores, em fornecer informação sobre os seus produtos. A maior limitação que se teve que enfrentar para se conseguir alcançar os resultados finais está relacionada com a escassez de informação, sendo que no futuro seria importante realizar uma ACV completa.

É de realçar que a comparação não teve em consideração os efeitos na saúde humana. De futuro será importante um estudo mais abrangente da viabilidade deste novo produto, que compreenda os pontos de vista técnico, económico e de risco para a saúde pública, de modo a possibilitar e incentivar a utilização do granulado de borracha em Portugal.

Capítulo 6 Bibliografia

- Agency (2012). "Life Cycle Assessment (LCA)." Retrieved 17 de Julho de 2012, from <http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/lca.html>.
- Aliapur (2010). Life cycle assessment of 9 recovery methods for end of life tyres.
- Ambiente (2008). Dossier Temático - Prevenção de Resíduos - Tema 6: Pneus Usados. .
- Biosafe (2012). "Empresa - quem somos." Retrieved 1 de Março de 2012, from <http://www.biosafe.pt/empresa/quemsomos.htm>.
- Biosafe (2012). "Produtos." Retrieved 1 de Março de 2012, from <http://www.biosafe.pt/produtos/produtos.htm>.
- Blackcircles. "The History of the Tyre." Retrieved 20 de Fevereiro, 2012, from <http://www.blackcircles.com/general/history>.
- Blic (2003). Promotion of Responsible Management of used tyres by the Tyre Industry - Used tyres: a valuable resource with a wealth of potential. Bruxelas.
- Campos (2006). Aproveitamento Industrial da Borracha Reciclada de Pneus Usados (a reciclagem do resíduo 100103 da L.E.R.). Minho, Escola de Engenharia da Universidade do Minho. **Tese apresentada para a obtenção do Grau de Mestre em Gestão Ambiental.**
- CEPMC (2000). Guidance for the Provision of Environmental information on Constrution Products. C. o. E. P. o. M. f. Constrution. Brussels.
- Convention (1999). Basel Convention on the Control ofTransboundary Movements on Hazardous Wastes and Their Disposal. S. N. 02/10. Geneve.
- Corti and Lombardi (2004). "End life tyres: Alternative final disposal processes compared by LCA." Energy **29**(12–15): 2089-2108.
- Development (2008). State of Knowledge Report for Tire Materials and Tire Wear Particles. Hannover.
- enGINUEM (2011). "Diretiva Quadro de Gestão de Resíduos – Decreto-Lei n.º 73/2011." Retrieved Junho de 2012, from <http://www.engenium.net/8765/gestao-de-residuos-decreto-lei-n-%C2%BA-732011.html>.
- ESKOM (2011). Avoid stretching energy costs - Achieving optimal energy efficiency in rubber processing. South Africa.
- ETRMA (2011). End of Life Tyre, in A valuable resource with growing potential. Bruxelas.
- Ferrão (1998). "Introdução à Gestão Ambiental." Instituto Superior Técnico Press.
- Fibrasom (2012). Granulado de Borracha. F.-M. d. C. S.A.
- Hunt, Franklin, et al. (1996). "LCA — How it came about." The International Journal of Life Cycle Assessment **1**(1): 4-7.
- Industrial (2000). Guia Técnico, Sector da Fabricação de Artigos de Borrachao de Artigos de Borracha.
- Joel Todd (1999). Streamlined Life-Cycle Assessment A Final Report from the SETAC North America Streamlined LCA Workgroup, Society of Envirnmntal Toxicology and Chemistry (SETAC).
- José Ferreira (2004). Análise de Ciclo de Vida dos Produtos. Viseu, Instituto Politécnico de Viseu.
- Labrincha (2006). Sub Projecto de Isolamento Térmico. 1º Relatório. Aveiro.
- MICHELIN (2012). "History." Retrieved 2012, 20 de Fevereiro, from <http://www.michelin.com/corporate/group/history>.

- Myers (2008). Nutrient Total Maximum Daily Load in Goose Creek Watershed, Pennsylvania. Philadelphia.
- Pereira (2005). Introdução à Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) – DAO/UA.
- ProBas (2010). "El-KW-Park-PT-2010 (in German). Zum ProBas-Projekt. Umweltbundesamt." Retrieved 15 de Janeiro, 2010, from <http://www.probas.umweltbundesamt.de/>.
- Programme (2008). Revised technical guidelines on environmentally sound management of used tyres. Conference of the Parties to the Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal Ninth meeting.
- Recipneu (2012). "Granulado Criogénico." Retrieved 3 de Março de 2012, from <http://www.recipneu.com/artigo.aspx?cntx=wAgeX2YGtBqWiangx9mliym6lggkPBaOllur031F%2BnLv%2BADkOcl9Nhe6OQAwT7ZW>.
- Recipneu (2012). "Tecnologia." Retrieved 3 de Março de 2012, from <http://www.recipneu.com/artigo.aspx?cntx=e%2BPnm9OfCCZ5D0m1McHrM24payTbloxHu%2FOMrAQB36m%2B59srzue0Cb5BIFHx%2FHY>.
- Siddique and Naik (2004). "Properties of concrete containing scrap-tire rubber – an overview." *Waste Management* **24**(6): 563-569.
- tires (2012). "Saiba tudo sobre pneus." Retrieved 2012, 20 de Fevereiro, from <http://www.braziltires.com.br/tudosobrepneus/pneus.html#corte>.
- USEPA (2001). LCAccess - LCA 101 - Introduction to LCA. United States of America, U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation.
- Valorpneu (2010). Relatório Anual e contas 2010.
- Valorpneu (2011). Relatório anual e contas.
- Valorpneu (2012). "Conheça o Sistema SGPU." Retrieved Julho, 2012, from http://www.valorpneu.pt/artigo.aspx?lang=pt&id_object=74&name=Modelo-Operacional-e-Financeiro.
- Valorpneu (2012). "A Gestão de Pneus Usados na Europa." Retrieved Julho, 2012, from <http://by150w.bay150.mail.live.com/default.aspx#!/mail/InboxLight.aspx?n=1132791803!n=1756975802&fid=1&fav=1>.
- Valorpneu (2012). "Informação técnica." Retrieved 2012, 21 de Fevereiro, from http://www.valorpneu.pt/artigo.aspx?lang=pt&id_object=221&name=Componentes-e-Caracteristicas-de-um-Pneu.
- Valorpneu (2012). "Sobre a Valorpneu." from http://www.valorpneu.pt/artigo.aspx?lang=pt&id_object=49&name=Quem-Somos.
- Valorpneu (2012). "Soluções para Pneus Usados." Retrieved 28 de Fevereiro de 2012, from http://www.valorpneu.pt/artigo.aspx?lang=pt&id_object=225&name=Reciclagem.
- Wrap (2008). Report on the EU Used Tyre Reprocessing Markets